

VTT Technical Research Centre of Finland

## Kehityspolut työkoneiden biokaasutekniikkaan

Söderena, Petri

Published: 28/02/2017

*Document Version*  
Publisher's final version

[Link to publication](#)

*Please cite the original version:*

Söderena, P. (2017). *Kehityspolut työkoneiden biokaasutekniikkaan*. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Asiakasraportti No. VTT-CR-01044-17

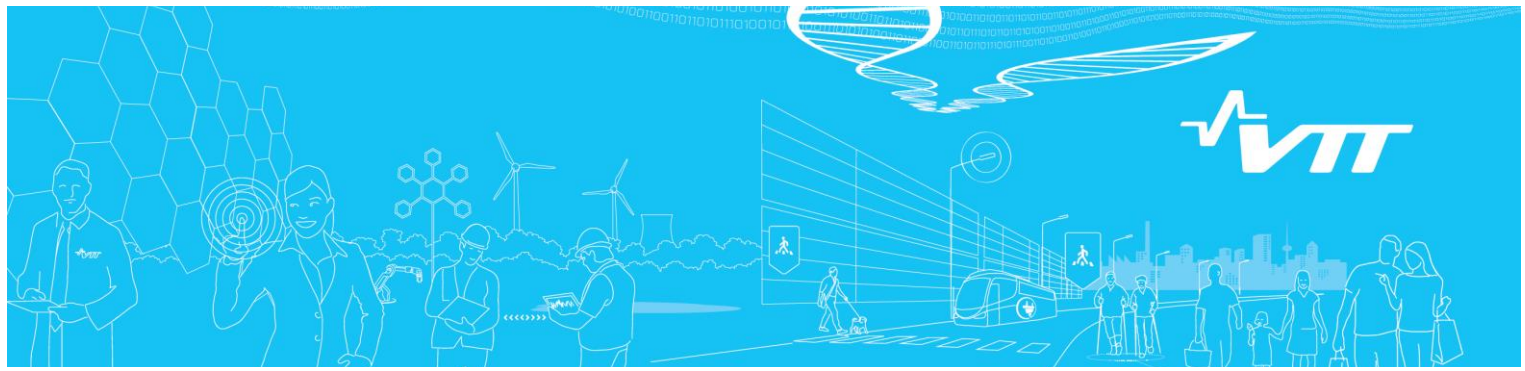


VTT  
<http://www.vtt.fi>  
P.O. box 1000FI-02044 VTT  
Finland

By using VTT's Research Information Portal you are bound by the following Terms & Conditions.

I have read and I understand the following statement:



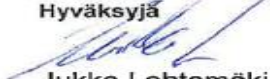
This document is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of this document is not permitted, except duplication for research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered for sale.



## **Kehityspolut työkoneiden biokaasutekniikkaan**

Kirjoittajat: Petri Söderena

Luottamuksellisuus: Julkinen

<b>Raportin nimi</b> Kehityspolut työkoneiden biokaasutekniikkaan	
<b>Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot</b> Maa- ja metsätalousministeriö / Veli-Pekka Reskola	<b>Asiakkaan viite</b>
<b>Projektin nimi</b> Kehityspolut työkoneiden biokaasutekniikkaan	<b>Projektin numero/lyhytnimi</b>
<b>Raportin laatija(t)</b> Petri Söderena	<b>Sivujen/liitesivujen lukumäärä</b> 41
<b>Avainsanat</b> Biokaasu, CNG, kaasulla toimivat työkoneet	<b>Raportin numero</b> VTT-CR-01044-17
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Työkoneet muodostavat erittäin laajan ja monimuotoisen joukon erilaisia koneita, jotka ovat suunniteltu tietynlaisiin työsovelluksiin. Erityistä työkoneille on niiden käyttöprofiiliin laaja jakauma riippuen koneen käyttötarkoituksesta. Työkoneiden käyttöympäristö eroaa tieliikennekulkuneuvoista merkittävästi käsittäen toisinaan äärimmäisen haastavat olosuhteet ja pitkät etäisyydet rakennettuun ympäristöön.</p> <p>Tällä hetkellä kaasukäyttöiset työkoneet ovat rajoittuneet vain haarukkatrukkeihin, joissa polttoaineena käytetään nestekaasua. Tieliikennepuolella raskaassa kalustossa on ollut käytössä jo pitkään paineistetulla ja nesteytetyllä maakaasulla toimivia kuorma-autoja sekä kaupunkibusseja. Työkonepuolella kaasulla toimivia työkoneita ei ole kuitenkaan ollut haarukkatrukkien lisäksi. Kaasunkäyttöä energialähteenä työkoneissa on rajoittanut tyyppihyväksynnän puuttuminen kaasua käyttäville moottoreille sekä tarvittavien kaasutankkien suuri koko ja työkoneiden käyttöolosuhteet sekä harva kaasunjakeluverkosto.</p> <p>Kaasua energialähteenä käyttäviksi työkoneiksi voisivat sopia parhaiten työkonetyypit, jotka täyttävät seuraavat kriteerit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Matala kokonaisenergiankulutus -&gt; Pienitehoiset työkoneet</li> <li>- Matala keskimääräinen työkoneen kuormitusaste, keskiteho luokkaa &lt; 50 %</li> <li>- Käyttöympäristö lähellä kaasutankkausasemia tai -tuotantoa</li> </ul> <p>Toimenpiteet, joilla kaasunkäyttöä työkoneiden energialähteenä voisi Suomessa edistää voi jakaa kolmeen osakokonaisuuteen:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kaasulla toimivien työkoneiden tutkimuksen ja tuotekehityksen tukeminen</li> <li>2. Julkisen sektorin ja lainsäädännön toimenpiteet biokaasun käytön edistämiseksi</li> <li>3. Biokaasun tuotannon ja jakelun kasvattaminen</li> </ol> <p>Jatkotoimenpiteinä kaasun mielekkyyden ja soveltuvuuden selvittämiseksi työkoneiden polttoaineeksi on eri kaasumootoritekniologioiden tarkempi selvitys ja perustutkimus välttämätöntä. Alla on listattuna kolme kyseeseen tulevaa eri teknologiavaihtoehtoa:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. "Retrofit" kaksoispolttoaine -ratkaisujen soveltuvuus vanhoihin työkoneisiin</li> <li>2. Dual-fuel -ratkaisun soveltuvuus ja potentiaali tulevassa Vaiheen V päästölainsäädännössä</li> <li>3. Kipinäsytytteisen-kaasumootorin soveltuvuus ja potentiaali tulevassa Vaiheen V päästölainsäädännössä</li> </ol>	
<p>Espoo 28.2.2017</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>Laatija</b></p>  <p>Petri Söderena, Senior Scientist</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>Tarkastaja</b></p>  <p>Nils-Olof Nylund Research Professor</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>Hyväksyjä</b></p>  <p>Jukka Lehtomäki Research Team Leader</p> </div> </div>	
<p><b>VTT:n yhteystiedot</b> Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, PL 1000, 02044 VTT</p>	
<p><b>Jakelu (asiakkaat ja VTT)</b> Maa- ja metsätalousministeriö 1 kpl, VTT Oy 1 kpl (arkisto)</p>	
<p style="text-align: center;">VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</p>	

## Alkusanat

---

Maa- ja metsätalousministeriö pyysi loppuvuonna 2016 VTT:ltä selvitystä mahdollisista kehityspoluista työkonien biokaasutekniikkaan. Selvitys tehtiin tilaustyönä. Maa- ja metsätalousministeriön toiveena oli, että VTT esittää suosituksia mahdollisista kehityspoluista, joilla biokaasun käyttöä työkonissa voisi edistää, sekä arvioi niihin liittyviä riskejä.

Työn yhtenä osana oli käydä vuoropuhelua kotimaisen työkoneteollisuuden sekä moottorivalmistajien sekä muiden asianomaisten ja viranomaisten kanssa. Vuoropuhelu suoritettiin kyselyiden avulla.

Haluan esittää isot kiitokset kyselyihin osallistuneille yrityksille, organisaatiolle ja niiden edustajille. Kyselyihin osallistuivat seuraavat tahot:

- AGCO Power Oy
- Gasum Oy
- Lännen Tractors Oy
- Sampo-Rosenlew Oy
- Stara
- Trafi
- Valtra Oy
- Vilakone Oy

Espoo 28.2.2017

Petri Söderena

## Sisällysluettelo

---

Alkusanat .....	2
Sisällysluettelo .....	3
Lyhenteet .....	4
1. Selvityksen tausta .....	5
2. Katsaus kaasunkäyttöön moottoripolttoaineena .....	5
2.1 Kaasumootoreiden käyttö sekä konemallit työkoneissa ja tieliikenteessä .....	5
2.2 Kaasutyökoneiden lukumäärät tyypeittäin .....	7
2.3 Bio- ja fossiilisen kaasun tuotanto ja jakeluverkosto .....	8
2.3.1 Nykyinen tilanne .....	8
2.3.2 Tulevaisuuden näkymät .....	9
3. Kaasumootoreihin liittyvä lainsäädäntö .....	9
3.1 Lainsäädännön nykytilanne .....	9
3.2 Lainsäädännön tulevaisuuden näkymä .....	10
4. Kaasumootoreiden kehitystilanne .....	12
4.1 Metaani polttoaineena .....	12
4.2 Nykyinen teknologia .....	13
4.2.1 Kipinäsytytteinen kaasumoottori .....	14
4.2.2 Esisekoittunut dual-fuel kaasumoottori .....	15
4.2.3 Suoraruiskutteinen dual-fuel kaasumoottori .....	16
4.3 Tutkimus- ja tuotekehitysnäkymät tulevaisuudessa .....	17
4.3.1 Tutkimuksen ja kehityksen tilanne yleisesti .....	18
4.3.2 Työkoneiden asettamat vaatimukset kaasumootoreille .....	18
4.3.3 Kehitysnäkymät Suomessa ja maailmanlaajuisesti .....	19
5. Mahdolliset kehityspolut ja suositukset jatkotoimenpiteistä .....	20
5.1 Mahdolliset kehityspolut .....	20
5.2 Suositukset jatkotoimenpiteiksi .....	22
6. Yhteenveto .....	24
7. Lähteet .....	25
LIITE A: Selvitykseen tehdyt kyselyt .....	27

## Lyhenteet

---

CO	Carbon monoxide	Hiilimonoksidi
CO <sub>2</sub>	Carbon Dioxide	Hiilidioksidi
cEGR	External Cooled Exhaust Gas Recirculation	Jäähdytetty pakokaasun takaisinkierto
CNG	Compressed Natural Gas	Paineistettu maakaasu
CBG	Compressed Biogas	Paineistettu biokaasu
DOC	Diesel Oxidation Catalyst	Dieselhapetuskatalysaattori
DPF	Diesel Particulate Filter	Dieselhiukkassuodatin
GHG	Greenhouse Gas	Kasvihuonekaasu
HC	Hydrocarbon	Hiilivety
HD	Heavy-Duty	Raskastyökäyttö
LNG	Liquefied Natural Gas	Nesteytetty maakaasu
LBG	Liquefied Biogas	Nesteytetty biokaasu
LPG	Liquefied Petroleum Gas	Nestekaasu
LRC	Lower Reculated Countries	Matalampien päästömääräyksien maat
NO <sub>x</sub>	Nitrogen Oxides	Typenoksidit
NRSC	Non Road Steady Cycle	Työkonemootoreiden vakiokuormapistesykli
NRTC	Non Road Transient Cycle	Työkonemootoreiden transientititestisykli
ORC	Organic Rankine Cycle	Rankine-prosessi
PM	Particulate Matter	Hiukkasmassa
PN	Particulate Number	Hiukkaslukumäärä
SCR	Selective Catalytic Reduction	NO <sub>x</sub> katalysaattori
TWC	Three-Way-Catalyst	Kolmitiekatalysaattori



## 1. Selvityksen tausta

*Kehityspolut työkoneiden biokaasutekniikkaan* on Maa- ja metsätalousministeriön toimeksiannosta tehty selvitys.

Tehtävänannon perusteella selvityksessä tuli kuvata kaasumoottoreiden nykytilanne. Lisäksi tuli laatia ehdotus teknologisista kehityspoluista, joilla biokaasun käyttöä työkoneissa voitaisiin edistää Suomessa, sekä pohtia niiden riskejä.

Selvityksessä tuli käydä vuoropuhelua kotimaisten työkonemoottorivalmistajien, traktori- ja työkonevalmistajien, muiden asiantuntijoiden sekä asianomaisten viranomaisten kanssa.

## 2. Katsaus kaasunkäyttöön moottoripolttoaineena

### 2.1 Kaasumoottoreiden käyttö sekä konemallit työkoneissa ja tieliikenteessä

Kaasumoottoreiden käyttö työkoneissa on tällä hetkellä Euroopan alueella vähäistä. Merkittävin työkoneryhmä, jossa on ollut jo pitkään myös kaasumoottorilla toimivia työkoneita, ovat erilaiset trukit. Niissä käytetään tyypillisesti polttoaineena neetekaasua eli LPG:tä. Tämän hetken tiedolla Euroopan tai USA:n alueella ei ole merkittäviä työkonevalmistajia, jotka tarjoaisivat merkittävässä määrin myös muita kaasumoottorikäyttöisiä työkoneita, kuten maatalous- tai rakennustyökoneet.

Muutaman viime vuoden aikana Euroopassa myös maataloustraktoreiden tarjontaan on kuitenkin tullut kaasulla toimivia työkoneita, tosin vasta prototyyppi asteella olevia, kuten Steyr 6125 Methane, Deutz-Fahr 5120C sekä New Holland T6.140 Methane Power tractor (kuva 1) [1] [2] [3]. Vain Valtra (kuva 2) mainostaa tällä hetkellä asiakkailleen kaasumoottorilla varustettua traktoria [4].



Kuva 1: New Holland T6.140 Methane -traktori [3].

Muista yllä mainituista kipinäsytytteisellä moottorilla ja paineistetun kaasun säiliöillä varustetuista kaasutraktoreista poiketen, Valtran kaasutraktori on varustettu kaksoispolttoaine (dual-fuel, diesel-kaasu) kaasumootorilla ja painestetun kaasun säiliöillä.



*Kuva 2: Valtra N-sarjan dual-fuel kaasutraktori [4].*

Tieliikenteessä on ollut jo 80-luvun alusta alkaen tarjolla kaasukäyttöisiä busseja ja kuorma-autoja, erityisesti USA:n markkinoilla. Esimerkiksi Cummins Westport valmistaa kaasumootoreita erilaisiin ajoneuvoihin kuten busseihin ja kuorma-autoihin [5]. Euroopassa suurilla bussien valmistajilla kuten Iveco, MAN ja Mercedes-Benz on tarjonnassa myös kaasukäyttöisiä ajoneuvoja [6] [7] [8]. Osa suurista ajoneuvojen valmistajista valmistavat myös kaasukäyttöisiä kuorma-autoja.

Suomessa oli vuoden 2016 alussa tieliikenteen käytössä yhteensä 1940 kpl paineistettua metaanikaasua käyttävää tieliikenneajoneuvoa. Näistä 42 kpl oli CNG/CBG bussia ja 77 kpl CNG/CBG raskasta ajoneuvoa [9].

Tällä hetkellä kaikki merkittävien valmistajien kaasukäyttöiset ajoneuvot ovat kipinäsytytteisiä. Ajoneuvoissa kaasu varastoidaan joko paineistettuna tai nesteytettynä. Moottorille syötetty kaasu on aina kaasumuodossa. Tyypillisesti kaasukäyttöiset bussit ovat paineistetun kaasun (CNG/CBG) tekniikalla ja kuorma-autot joko paineistetun (CNG/CBG) tai nesteytetyn kaasun (LNG/LBG) tekniikalla toteutettuja. Kuvassa 3 on esitetty Iveco Starlis NP:n vaihtoehdot kaasun säiliöimiseksi ajoneuvoon.

Pohjois-Amerikassa on myös tarjolla ns. "retrofit" eli jälkiasennettuja kaasumootoripaketteja raskaan tieliikenteen ajoneuvoihin [10]. Tyypillisesti nämä jälkiasennetut kaasumootoripaketit on suunniteltu ennen vuotta 2010 valmistettuihin dieselmootoreihin, ja ne toimivat dual-fuel periaatteella, jossa kaasu syötetään imuilman sekaan ennen sylinteriä, jolloin ajoneuvoa voidaan käyttää joko kaasulla ja dieselillä yhtäaikaaisesti tai pelkällä dieselillä. Perinteisellä imusarjaan syöttävällä dual-fuel tekniikalla ei ole mahdollista täyttää uusimpia tieliikenteen päästömääräyksiä isoilla dieselin korvausosuuksilla.



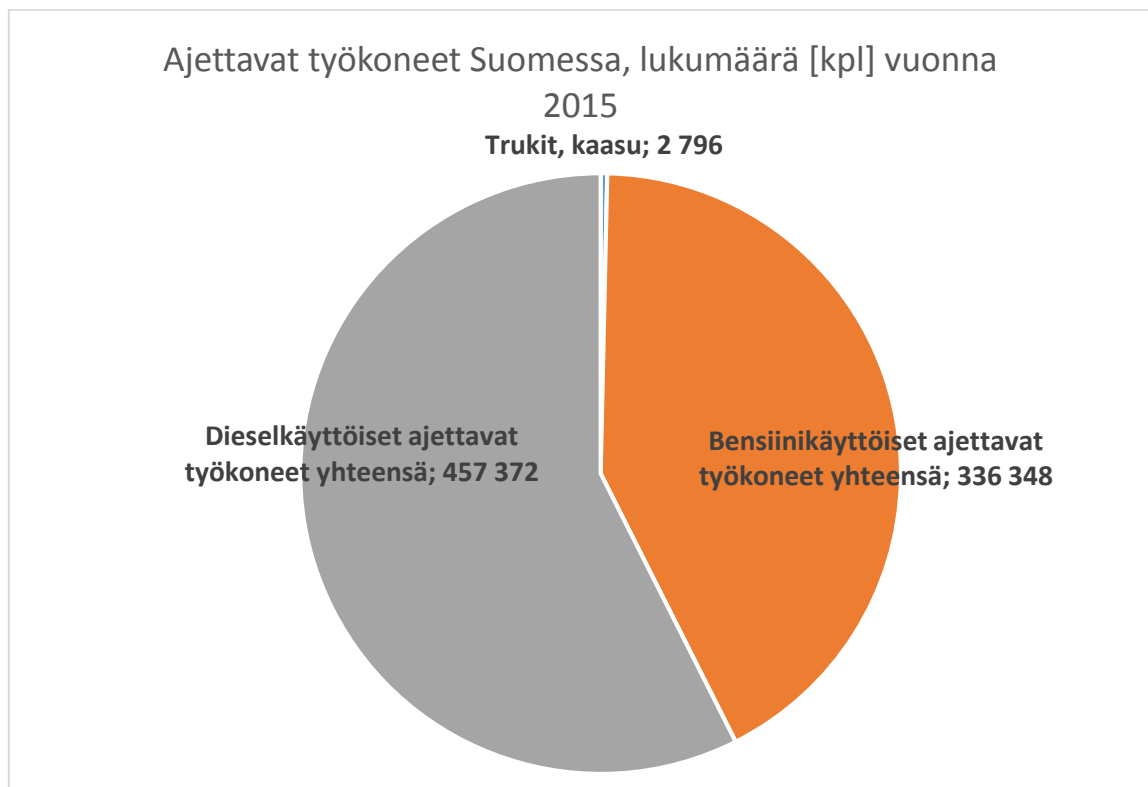


Kuva 3: Iveco Stralis NP:n kaasutekniikka vaihtoehdot [11].

## 2.2 Kaasutyökoneiden lukumäärät tyypeittäin

Ajettavien työkoneiden lukumäärä Suomessa vuonna 2015 oli yhteensä noin 800 000 kappaletta, ja näistä kaasukäyttöisiä työkoneita oli noin 2800 kpl [12]. Kuvassa 4 on esitetty työkoneiden lukumäärät käyttövoiman perusteella jaoteltuna. Dieselkäyttöisiä ajettavia työkoneita on noin 460 000 kappaletta ja bensiinikäyttöisiä noin 336 000 kappaletta. Kaasukäyttöisten ajettavien työkoneiden osuus on tällä hetkellä siis noin 0,1 % koko ajettavien työkoneiden kannasta. Kaasukäyttöiset työkoneet koostuvat vain trukeista, eli tilastoituna ei ole muita kaasukäyttöisiä työkoneita.

Yksittäisiä ajettavia työkoneita, jotka ovat muutettu kaasukäyttöisiksi saattaa esiintyä, mutta niitä ei ole tilastoitu. Joka tapauksessa tällä hetkellä kaasukäyttöisten työkoneiden osuus Suomen työkonekannasta on äärimmäisen pieni.



Kuva 4: Ajettavien työkoneiden lukumäärät Suomessa vuonna 2015 käyttövoiman perusteella jaettuna.

## 2.3 Bio- ja fossiilisen kaasun tuotanto ja jakeluverkosto

Suomessa käytettävän maakaasun hankinnasta vastaa Gasum Oyj, ja maakaasu hankitaan Venäjältä. Pääosa Suomen paineistetun kaasun, joko CNG tai CBG, tankkausasemista on liitetty maakaasuverkkoon, johon syötetään myös biokaasua toistaiseksi neljästä eri pisteestä (Kouvola, Espoo, Lahti ja Virolahti) [9].

### 2.3.1 Nykyinen tilanne

Vuoden 2016 lopussa Suomessa oli 26 paineistetun kaasun tankkausasemaa. Suurimmalla osalla tankkausasemista käyttäjä voi valita tankattavaksi joko maakaasua tai biokaasua. Näiden asemien lisäksi on joitakin yksityisiä tankkausasemia, joko maakaasuverkkoon kytkettynä tai biokaasulaitoksen yhteydessä. Biokaasun osuus kaikesta kaasuautoihin tankatusta kaasusta oli vuonna 2015 noin 40 % [9].

Tällä hetkellä Suomessa on vain kaksi nesteytetyn maakaasun tankkausasemaa, jotka sijaitsevat Vuosaarella ja Turussa.

Suomen biokaasusta pääosa tuotetaan tällä hetkellä kaupunkien ja teollisuuden jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitoksilla, kiinteän yhdyskuntajätteen biokaasulaitoksilla sekä maatilojen biokaasulaitoksilla. Vuoden 2016 alussa Suomessa oli 83 biokaasuntuotantoyksikköä [13]. Vuonna 2014 biokaasua tuotettiin Suomessa noin 740 GWh edestä. Vuosien 2014 - 2016 aikana tuotanto on kasvanut arviolta vähintään 20 %, jolloin tuotantomäärä vuonna 2016 olisi ollut noin 900 GWh [14]. Vertailuna tieliikenteessä käytettyjen nestemäisten tieliikennepolttoaineiden energiasisältö vuonna 2016 oli noin 46520 GWh (n. 4 Mtoe).

### 2.3.2 Tulevaisuuden näkymät

Liikenne- ja viestintäministeriön työryhmä ehdottaa *Työryhmän ehdotus liikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluverkon suunnitelmaksi* -raportissaan, että Suomeen rakennettaisiin vuosien 2020 - 2030 aikana EU:n jakeluinfrastruktuuriin suosituksia vastaava määrä kaasun tankkausasemia siten, että vuonna 2020 CNG/CBG tankkausasemia olisi yhteensä 50, eli lisäystä vuoden 2016 alun tilanteeseen tulisi 16 asemaa. Lisäksi tavoitteena on raskaankaluston tarpeisiin kattava LNG-tankkausasemaverkosto vuoteen 2030 mennessä [9].

Julkisen hallinnon esittämien tavoitteiden lisäksi yksityiset yritykset ovat ilmoittaneet aikeistaan rakentaa lisää kaasun tankkausasemia. Yksin Gasum on ilmoittanut tavoitteekseen 35 uuden bio- ja maakaasun tankkausaseman rakentamisen seuraavan 10 vuoden kuluessa. Näiden asemien lisäksi Gasum on myös ilmoittanut kehittävänsä tankkausasemaverkoston LNG ajoneuvoille, sekä tarjoaa kaasunjakeluverkon ulkopuolelle paineistetun kaasun konttiratkaisuita [14] (LIITE A: Gasum Oy).

Muina toimina Liikenne- ja viestintäministeriön työryhmä esittää raportissaan toimenpiteiksi tulevaisuudessa, että liikenne- ja työkonikäyttöön tarkoitetun biokaasun tuotantoa ja jakelua tuetaan investointituilla [9].

Tulevaisuudessakin maa- ja biokaasu tulevat mitä todennäköisemmin nauttimaan verotuksellisesti kevyempää kohtelua kuin nestemäiset polttoaineet ja erityisesti nestemäiset fossiiliset polttoaineet. Maakaasulla säilynee lämmityspolttoaineiden matalampi verokanta ja biokaasun verovapaus säilynee myös [9].

Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisemassa *Suomen ilmastostrategia vuoteen 2030* -selonteossa linjataan, että edistetään kaasukäyttöisten autojen ja työkonien yleistymistä ja maatalouden biomassojen biokaasupotentiaalin nykyistä parempaa hyödyntämistä [15].

Kokonaisuudessaan panostusta biokaasutuotannon sekä kaasunjakeluverkon kehittämiseen ollaan tulevaisuuden osalta lisäämässä merkittävästi. Tämän lisäksi uusiin kaasualan teknologioihin (erityisesti Cleantech) ollaan panostamassa kansallisesti sekä EU:n tasolla.

## 3. Kaasumootoreihin liittyvä lainsäädäntö

---

### 3.1 Lainsäädännön nykytilanne

Henkilöautojen päästönormit perustuvat kokonaisten ajoneuvojen mittaukseen, kun taas raskaiden tieliikenneajoneuvojen ja työkonien päästönormit perustuvat pelkän moottorin ja siihen mahdollisesti kuuluvien pakokaasun jälkikäsitteilylaitteiden testaamiseen.

Työkonemootoreita koskeva nykyinen lainsäädäntö on Euroopassa Vaihe IV päästöstandardi, joka tuli voimaan vaiheittain vuoden 2014 aikana riippuen moottoritehosta. Työkoneita koskeva päästöstandardi säännöstelee työkonemootoreiden NO<sub>x</sub>, HC, CO ja PM päästöjä.

Vaihe IV standardin päästövaatimukset säännöstellyille päästöille on esitetty kuvassa 5. Alle 56 kW:n moottoriteholuokkien päästölainsäädäntö perustuu aiempiin Vaihe III A ja Vaihe III B päästöstandardeihin, ja ne ovat selkeästi löyhemmät kuin Vaihe IV päästölainsäädännön vaatimukset. Vaihe IV:n NO<sub>x</sub> päästöraja on samaa tasoa kuin tieliikennemootorien Euro VI raja, mutta hiukkasraja on korkeampi.

Vaihe IV päästöstandardin päästöttestit koostuvat NRSC sekä NRTC testeistä. NRSC testi koostuu vakiokuormapisteistä, joilla jokaisella on oma painoarvo. Yhdistelmätuloksia muodostuu painotettujen tulosten summasta. NRTC testi on transienttityyppinen yhdistelmätesti, jonka

tulos koostuu saman testisyklin kylmällä ja kuumalla moottorilla ajettuiden syklien painotetusta yhdistelmätuloksesta.

Cat.	Net Power	Date	CO	HC	NOx	PM
	kW					
Q	130 ≤ P ≤ 560	2014.01	3.5	0.19	0.4	0.025
R	56 ≤ P < 130	2014.10	5.0	0.19	0.4	0.025

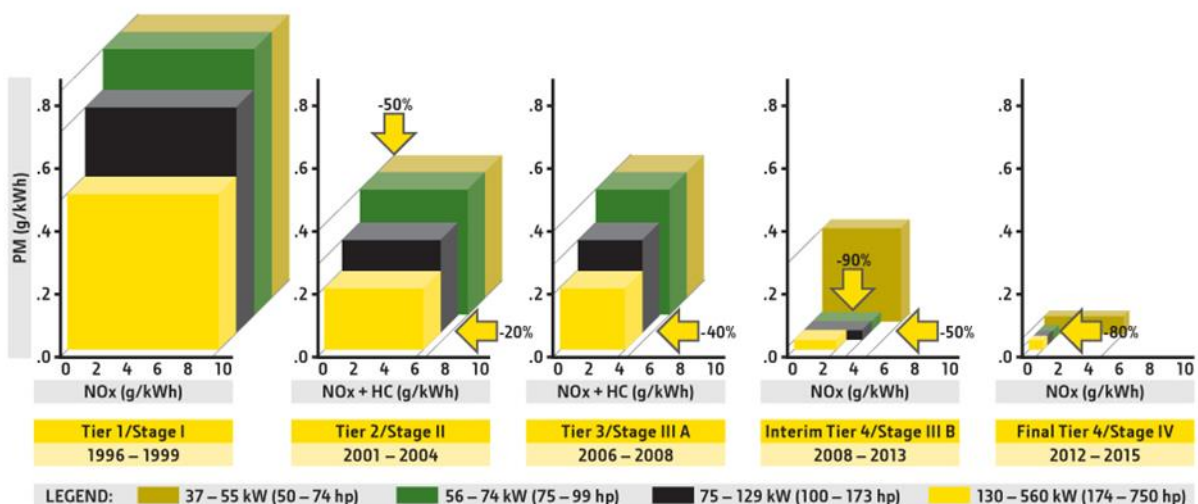
Kuva 5: Euroopassa työkonemoottoreita koskeva nykyinen Vaihe IV päästöstandardi [16].

Vaihe IV tai aiemmat päästöstandardit tunnistavat vain dieselkäyttöiset moottorit, jolloin kaasukäyttöisiä moottoreita ei ole ollut aikaisemmin mahdollista hyväksyä EU alueella. Teoreettisena mahdollisuutena on tällä hetkellä saada päästöhyväksyntä kaasu- ja dual-fuel-moottoreille osoittamalla päästöjen vaatimuksenmukaisuus tunnustettavaksi EU-asetuksen 595/2009 mukaisen hyväksynnän eli raskaassa tiekuljetuskalustossa sovellettavaksi säädetyn Euro VI - päästöhyväksynnän kautta (Liite A: Trafi).

Suomen ajoneuvolain mukaan ns. "retrofit" dual-fuel teknologian käyttö on mahdollista myös tieliikenteeseen rekisteröidyillä työkoneilla, mutta ajoneuvo on muutoksastettava. Muutoksastuksessa tulee osoittaa ajoneuvon ensimmäisen käyttöönottoajankohdan päästövaatimusten täyttyminen. Mikäli päästövaatimusten täyttymisestä ei pystytä osoittamaan riittävää osoitusta, ei ajoneuvoa saa käyttää ilman poikkeuslupaa (Liite A: Trafi).

Vaihe I - IV päästölainsäädännöissä on keskitytty haitallisten päästöjen NO<sub>x</sub>, HC, CO ja PM vähentämiseen. Kuvassa 6 on esitetty Euroopan ja USA:n NO<sub>x</sub> ja PM päästörajojen kehitys vuosien 1999 ja 2014 välillä. Näiden kahden komponentin osalta tiukennus on ollut merkittävin.

EPA and EU nonroad emissions regulations: 37 – 560 kW (50 – 750 hp)



Kuva 6: Työkonemoottorien NO<sub>x</sub> ja PM pakokaasupäästörajojen kehitys Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa [17].

### 3.2 Lainsäädännön tulevaisuuden näkymä

Työkoneiden päästölainsäädäntö muuttuu Vaihe V:ksi vuonna 2018, jonka jälkeen ei enää saa tyyppihyväksyntöjä Vaihe IV päästöstandardin mukaan. Kuvassa 7 on esitetty Vaihe V päästöstandardi päästökomponentteittain. Vaihe V vastaa likipitään tieliikennemoottorien Euro VI päästövaatimuksia.

Vaihe V päästölainsäädäntö pitää sisällään kolme merkittävää päästöjä säätelevää muutosta edellisiin vaiheisiin verrattuna:

1. Hiukkaslukumäärärajan lisääminen säädeltäväksi päästökseen 19 - 560 kW teholuokkiin
2. Säädännön ulottaminen 8 kW - 19kW teholuokan pieniin moottoreihin
3. Säädös tunnistaa kaasumoottorit ja sisältää kaasumoottoreita koskevan määrättyjen rajojen sisällä liukuvan hiilivetypäästörajan riippuen kaasun osuudesta moottorin käyttämästä kokonaisenergiasta

Hiukkasmassarajan laskeminen (Vaihe IV:än verrattuna) sekä hiukkaslukumäärärajan käyttöönotto pakottavat työkonemoottorivalmistajat käyttämään hiukkassuodattimia. Lisäksi päästölainsäädäntö tunnistaa nyt myös dual-fuel sekä kipinäsytytteiset kaasumoottorit, joiden hiilivetypäästöjä säädellään eri lailla kuin puristussytytteisiä nestemäisellä polttoaineella käyviä moottoreita (yllä olevan listauksen kohta 3.).

Category	Ign.	Net Power	Date	CO	HC	NOx	PM	PN
		kW						
NRE-v/c-1	CI	P < 8	2019	8.00	7.50 <sup>a,c</sup>		0.40 <sup>b</sup>	-
NRE-v/c-2	CI	8 ≤ P < 19	2019	6.60	7.50 <sup>a,c</sup>		0.40	-
NRE-v/c-3	CI	19 ≤ P < 37	2019	5.00	4.70 <sup>a,c</sup>		0.015	1×10 <sup>12</sup>
NRE-v/c-4	CI	37 ≤ P < 56	2019	5.00	4.70 <sup>a,c</sup>		0.015	1×10 <sup>12</sup>
NRE-v/c-5	All	56 ≤ P < 130	2020	5.00	0.19 <sup>c</sup>	0.40	0.015	1×10 <sup>12</sup>
NRE-v/c-6	All	130 ≤ P ≤ 560	2019	3.50	0.19 <sup>c</sup>	0.40	0.015	1×10 <sup>12</sup>
NRE-v/c-7	All	P > 560	2019	3.50	0.19 <sup>d</sup>	3.50	0.045	-

<sup>a</sup> HC+NOx

<sup>b</sup> 0.60 for hand-startable, air-cooled direct injection engines

<sup>c</sup> A = 1.10 for [gas engines](#)

<sup>d</sup> A = 6.00 for [gas engines](#)

Kuva 7: Työkoneiden Vaihe V päästöstandardin mukaiset rajat eri päästökseeniteille [16].

Vaihe V päästölainsäädännön seuraajasta tai jatkotoimista ei ole vielä ilmoitettu virallisia suunnitelmia. Kuitenkin vuoden 2020 loppuun mennessä on määrä esittää arviointi mahdollisista uusista päästöraja-arvoista sekä tunnistaa mahdollinen tarve säännöstellä muita vielä sääntelemättömiä päästöyhdisteitä. Raskaiden tieliikenneajoneuvojen osalta tiedetään jo, että jatkossa tullaan sääntelemään myös hiilidioksidipäästöjä laskennallisen VECTO-menettelyn avulla.

## 4. Kaasumootoreiden kehitystilanne

---

### 4.1 Metaani polttoaineena

Metaani koostuu yhdestä hiiliatomista, johon on liittyneenä neljä vetyatomia. Tästä molekyyliarakenteesta seuraa moottoripalamiseen muutama tärkeä ominaisuus. Puhtaan metaanin moottorioktaaniluku on verrattain korkea, luokkaa 137 - 140 [18]. Korkeasta oktaaniluvusta johtuen metaani tarjoaa hyvän sietokyvyn haitallista nakutusta vastaan, joka on hyödyksi kipinäsytytteisissä kaasumootoreissa.

Toisaalta tämä tarkoittaa sitä, että metaani ei syty puristettaessa kuten diesel, vaan tarvitsee ulkoisen energialähteen syttyäkseen, joko kipinän tai pienen määrän dieseliä kuten dual-fuel moottoreissa. Laiha metaaniseos vaatii paljon sytytysenergiaa ja palaa lisäksi suhteellisen hitaasti. Tästä syntyy tiettyjä haasteita, mm. palamattoman metaanin päästöjä, niin kipinäsytytteisissä laihaseosmoottoreissa kuin dual-fuel moottoreissa. Kaikissa uusimmat tieliikenteen päästömääräykset täyttävissä kaasumootoreissa käytetään kipinäsytytystä, stoikiometrista seosta ( $\lambda=1$ ) ja kolmitoimikatalysaattoria.

Hiili-hiilidosten puuttuessa tuottaa metaani luontaisesti selvästi vähemmän nokea kuin fossiilinen bensiini tai dieselpolttoaine. Alhaiset hiukkaspäästöt olivat aikaisemmin kaasukäyttöisten moottoreiden merkittävä etu, mutta dieselmoottorien hiukkassuodattimien yleistyessä tämä etu on katoamassa<sup>1</sup>.

Taulukossa 1 on esitetty metaanin ominaisuuksia eri puhtausasteissa. Puhtaan metaanin oktaaniluku on korkea (luokkaa 137 - 140) ja se putoaa nopeasti, kun siihen sekoitetaan muita kaasuja. Erityisesti biokaasu voi sisältää käsittelemättömänä hyvinkin matalan metaaniosuuden ja vastaavasti merkittävän määrän muita yhdisteitä, jolloin oktaaniluku jää hyvinkin kauas puhtaan metaanin arvosta. Biokaasun vaihteleva koostumus on hyvin haastavaa moottorin toiminnan optimoimiselle ja toiminalle. Tämän takia käsittelemätöntä biokaasua ei voi käyttää sellaisenaan suoraan polttoaineena moottoreissa vaan se täytyy ensin puhdistaa epäpuhtauksista (kuten siloksaanit) ja joista osa on myös syövyttäviä (kuten ammoniakki ja rikki). Lisäksi raakabiokaasu sisältää merkittävän määrän inerttejä kaasukomponentteja (kuten typpi ja hiilidioksidi), jotka laskevat kaasun energiasisältöä. Erityisesti hiilidioksidi täytyy poistaa lähes kokonaan ennen kuin kaasua voidaan paineistaa.

Tällä hetkellä Suomessa ei ole yleistä laatustandardia tieliikennekäyttöön tarkoitettun biokaasun koostumukselle. Ruotsissa on käytössä tieliikennebiokaasustandardi SS 155438:1999, joka määrittää minimi metaanipitoisuuden sekä komponentteittain sallitut pitoisuudet epäpuhtauksille.

---

<sup>1</sup> Dieselmootoreiden käyttösovelluksesta ja tehotasosta riippuen hiukkassuodatin vaatii eritasoista lämmönhallintaa, jotta kertynyt nokimäärä saadaan puhdistettua (poltettua pois) tarpeen vaatiessa. Vaikeimmissa käyttökohteissa puhdistusta saatetaan joutua tekemään hyvinkin tiuhaan. Tällä on merkittävä polttoaineenkulutusta lisäävä vaikutus, jopa luokkaa 10 % - 20 %.



Composition		Test Reference Gas			
		G <sub>20</sub>	G <sub>23</sub>	G <sub>25</sub>	G <sub>R</sub>
Methane C <sub>1</sub>	%mol	99.5 ± 0.5	92.5 ± 1	86 ± 2	87 ± 2
Ethane C <sub>2</sub>	%mol	-	-	-	13 ± 2
Balance	%mol Max	1	1	1	1
N <sub>2</sub>	%mol	-	7.5 ± 1	14 ± 2	-
S	mg/kg Max	10	10	10	10
W.I.	Nr (LHV)	48 ± 0.2	44 ± 0.5	41.5 ± 1	48.5 ± 0.5
MN	Nr	95 - 100	82 - 85	70 - 76	70 - 78
MON	Nr	137-140	128-130	120-124	120-126

Composition		Typical Composition: Biogas/Natural Gas/LNG/LBM				
		LBM	High-Gas	LNG- std	Low-Gas	Rich-LNG
Methane C <sub>1</sub>	%mol	98 ± 1	93 ± 4	93 ± 5	82 ± 3	83 ± 2
Ethane C <sub>2</sub>	%mol	-	5 ± 3	5.5 ± 3	5 ± 1	13 ± 1
C <sub>3+</sub>	%mol Max	-	2 ± 1	2 ± 1	13 ± 2	3 ± 1
N <sub>2</sub>	%mol	2 ± 1	2 ± 1	0.5 ± 0.5	13 ± 2	0.5 ± 0.5
S	mg/kg Max	3	10	3	10	3
W.I.	Nr (LHV)	46 ± 1	46.2 ± 0.6	47.5 ± 1	43.3 ± 0.5	49.5 ± 0.5
MN	No.	90 - 95	75 - 90	75 - 90	60 - 70	63 - 70
MON	No.	135-137	124-134	124-134	113-120	115-120

Taulukko 1: Metaanin ominaisuuksia eri puhtausasteissa sekä olomuodoissa [18].

## 4.2 Nykyinen teknologia

Kaasumoottorit voidaan jakaa kolmeen alla olevaan luokkaan niiden sytytystavan ja kaasuntuonnin perusteella:

1. Kipinäsytytteinen kaasumoottori
2. Esisekoittunut dual-fuel kaasumoottori
3. Suoraruiskutteinen dual-fuel kaasumoottori

Työkoneissa esiintyvät kaasumoottorit ovat olleet tähän mennessä lähes yksinomaan kipinäsytytteisiä pienehköjä moottoreita, joita käytetään esimerkiksi trukeissa. Nämä moottorit ovat hyvin lähellä perinteisiä bensiinikäyttöisiä ottomoottoreita. Tähän asti raskaissa työkoneissa ei ole ollut maailmanlaajuisesti merkittävästi käytössä kipinäsytytteisiä tai muita kaasumoottoreita. Pohjois-Amerikassa, Kiinassa sekä Australiassa on käytössä kuitenkin jossain määrin nesteytettyä maakaasua polttoaineena käyttäviä isoja dumppereita lähinnä kaivosteollisuuden piirissä.

Tieliikennepuolella on sen sijaan ollut jo pitkään käytössä pieni määrä kaasulla toimivia moottoreita niin busseissa kuin kuorma-autoissa ja muissa tieliikenteen työajoneuvoissa. Moottorit ovat olleet lähes yksinomaan kipinäsytytteisiä kaasumoottoreita. Polttoaineena käytetään joko LNG:tä tai CNG:tä riippuen ajoneuvotyypistä. Pohjois-Amerikassa on poikkeuksena myös muutamia yrityksiä, jotka tarjoavat ns. "retrofit" DF-tekniikkapaketteja dieselmoottoreihin jälkikäteen asennettavaksi [10].

#### 4.2.1 Kipinäsytytteinen kaasumoottori

Kipinäsytytteiset (SI) kaasumoottorit perustuvat hyvin pitkälle perinteiseen ottomoottoripalamiseen, jossa moottoriin johdettu stoikiometrinen ( $\lambda=1$ ) polttoaine-ilmaseos (polttoaine suihkutetaan joko yhdessä pisteessä ennen imusarjaa tai suoraan imukanaviin moottorin imutahdin aikana) on esisekoittunut ennen kuin se sytytetään sytytystulpan kipinällä. Palaminen etenee tämän jälkeen turbulentsena liekkiäntamapalamisena sytytystulpasta poispäin. Esisekoittuneesta homogeenisesta polttoaine-ilmaseoksesta johtuen SI-moottorit tuottavat hyvin vähäisesti pienhiukkasia. Lambda 1 toiminta mahdollistaa kolmitiekatalysaattorin (TWC) käytön, jolla typenoksidit, hiilimonoksidit ja palamattomat hiilivedyt pystytään hapettamaan ja pelkistämään hyvin matalalle tasolle. Nykyiset raskaankaluston SI-kaasumoottorit täyttävät raskaantielikenteen Euro VI päästö määräyksen pelkällä kolmitiekatalysaattorilla. Euro VI päästölainsäädännössä kaasumootoreilta ei tosin edellytetä hiukkaslukumäärärajan täyttämistä ja päästöttestauksena on vain transienttisykli.

Kipinäsytytteisen moottorin heikkoutena on dieselmoottoria selvästi alhaisempi hyötysuhde. Tämän hetken perinteisillä stoikiometrisellä seossuhteella toimivilla SI-mootoreilla energiankulutus on esimerkiksi kaupunkibussikäytössä luokkaa 30 % suurempaa kuin dieselbusseilla ja jätteenkeräyskuorma-autoilla luokkaa 17 - 24 % suurempaa kuin dieselkäyttöisellä kuorma-autolla [10].

SI-kaasumoottoreita on myös nk. laihaseosmoottoreina, joissa lambda on korkeampi kuin 1, tyypillisesti luokkaa 1,1 - 1,4. Laihaseosmoottoreilla hyötysuhde on tyypillisesti erityisesti vakiokuormatilanteilla parempi kuin stoikiometrisellä seossuhteella toimivilla SI-moottoreilla. Laihaseos SI-moottoreiden merkittävänä ongelmana on kuitenkin se, että yksinkertainen TWC ei pysty pelkistämään  $\text{NO}_x$  päästöjä johtuen pakokaasujen ylimääräisestä hapesta. Laihaseosmoottorit vaativat tästä johtuen monimutkaisempaa pakokaasujen jälkikäsitelyä, esimerkiksi SCR tekniikkaa, jotta ne täyttäisivät esimerkiksi tieliikenteen raskaankaluston Euro VI tai työkoneiden tulevan vaihe V päästölainsäädännön kriteerit.

SI-moottorin hyötysuhdetta rajoittavat merkittävimmin kaksi asiaa, dieselmoottoria selvästi matalampi puristussuhde sekä kuormansäädön tapahtuminen kaasuläpällä. Kipinäsytytteisten moottoreiden puristussuhdetta ja siten hyötysuhdetta rajoittaa polttoaine-ilmaseoksen haitallinen itsesytyminen, joka tunnetaan nakutuksena. Tyypillisesti imusarjaruiskutteisien SI-moottoreiden puristussuhde on bensiiniä käytettäessä luokkaa 8:1 - 11:1, riippuen onko moottori vapaasti hengittävä vai turboahdettu. Polttoaineominaisuudet vaikuttavat merkittävästi moottorin nakutusherkkyyteen. Polttoaineena metaanin hyvänä puolena on (kuten kappaleessa 4.1 todetaan) korkea oktaaniluku, jonka ansiosta se kestää hyvin palamisen vielä palamattomaan polttoaine-ilma-seokseen aiheuttamaa lämpötilan ja paineen nousua ennen kuin polttoaine-ilmaseos syttyy itsestään liekkirintaman ulkopuolella aiheuttaen nakutusta. Tämän takia metaania käyttävillä SI-moottoreilla voidaan käyttää korkeampaa puristussuhdetta kuin bensiiniä käyttävillä imusarjaruiskutteisilla SI-moottoreilla.

Toinen SI-moottorin hyötysuhdetta merkittävästi laskeva tekijä verrattuna dieselmoottoriin on kuorman säädön tapahtuminen kaasuläpällä. Tästä seuraa erityisesti osakuormilla merkittävää kaasunvaihtotyötä, jonka moottori joutuu tekemään kaasua imeäkseen tai pikemminkin rajoittaakseen tarvittavan ilmamäärän sylinteriin.

Nykyiset raskaan kauston SI-kaasumoottorit perustuvat usein hyvin läheisesti vastaaviin dieselmoottoreihin ja ovat hyvin perinteistä tekniikkaa edustavia, kuten kuvan 8 Cummins Westport SI-kaasumoottori. Tämän takia hyötysuhteen parantamispotentiaalia on selvästi. Esimerkiksi jo pelkästään perustana olevan HD-dieselmoottorin mekaanisten komponenttien (sylinterikansi, venttiilit, imusarja jne.) optimoiminen SI-kaasupalamiseen parantaa hyötysuhdetta selvästi. Myös ulkoisen jäähdytetyn pakokaasun takaisinkierrätyksen (cEGR) avulla SI-moottoreilla palamislämpötilaa pystytään laskemaan. Tämä mahdollistaa palamisen painopisteen siirtämisen lähemmäs optimaalista kohtaa ilman, että nakutusta ilmenee sekä samalla pienentää kaasunvaihtotyötä lisäämällä sylinterin täytöstä erityisesti osakuormilla.

Molemmista seuraa moottorin hyötysuhteen paraneminen. Lisäksi cEGR:llä moottorin raaka- $\text{NO}_x$  päästöt laskevat matalammalle tasolle helpottaen TWC:n toimintaa. Toinen kaasumoottorin osakuormien hyötysuhdetta merkittävästi parantava tekniikka on muuttuva venttiilin ajoitus sekä nousu. Muuttuvan venttiilinnousun ansiosta moottorin kaasunvaihtotyö pienenee merkittävästi verrattuna kaasuläpällä säädettyyn kuormaan, jonka seurauksena moottorin hyötysuhde paranee. Kaasunvaihtotyötä pystyttäisiin pienentämään myös sylinterien lepuuttamisella, jossa osa sylintereistä ”sammutetaan” ja muiden sylintereiden kuormitustasoa nostamalla parannetaan moottorin hyötysuhdetta.



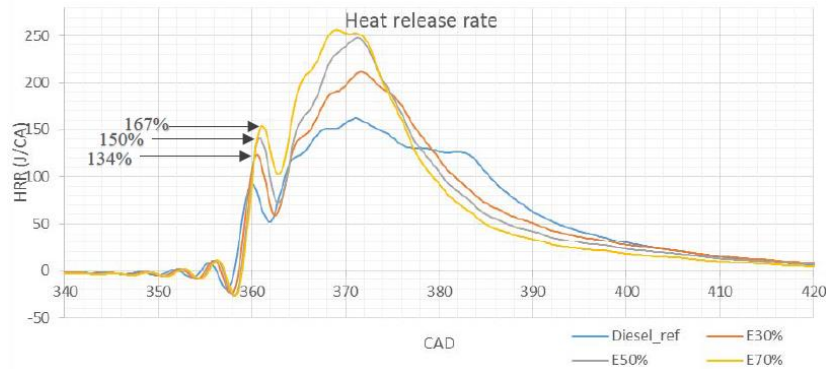
Kuva 8: CumminsWestport kipinäsytytteinen HD-kaasumoottori [19].

SI-kaasumoottorin selkeänä etuna muihin kaasumoottoreihin verrattuna on sen yksinkertainen ja erittäin edullinen pakokaasujen jälkikäsitteilylaitteisto, jolla päästöt saadaan laskettua erittäin matalalle tasolle. Kolmitiekatalysaattori ei myöskään vaadi erityistä lämmönhallintaa tai huoltotoimenpiteitä, jotka näkyisivät työkoneneen käyttäjälle. Stoikiometrisella seoksella ja TWC:llä metaanipäästöt pysyvät myös alhaisena.

#### 4.2.2 Esisekoittunut dual-fuel kaasumoottori

Esisekoittuneella dual-fuel moottorilla (tässä DDF-moottori eli diesel dual-fuel) tarkoitetaan moottoritekniikkaa, jossa kaasu suihkutetaan imuilman sekaan ennen sylinteriä, ja seoksen sytyttämiseen tarvittava energia saadaan pienestä dieselpolttoaineannoksesta nk. pilottiruiskutusannoksesta. Kaasu voidaan suihkuttaa joko yhdessä pisteessä ennen imusarjaa tai jokaiseen imukanavaan erikseen bensiinin monipistesuihkutuksen tavoin. Seoksen syttyä etenee palaminen liekkirintama- ja diffuusiopalamisen välimuotona riippuen pilottiruiskutusannoksen määrästä. Kuvassa 8 on esitetty tyypillisen DDF-palamisen lämmönvapautumista muutamalla eri dieselin korvausasteella sekä vertailuna puhdasta dieselpalamista.

Esisekoittumispalamiseen perustuvat DDF-moottorit ovat perustaltaan normaaleita dieselmoottoreita, joihin on lisätty kaasun suihkutus- ja ohjauslaitteisto. Kaikki tämän hetken tieliikenne-DDF-moottorit ovat ns. ”retrofit” -moottoreita, joissa kaasunsuihkutuslaitteisto on asennettu jälkikäteen ja näin mahdollistetaan moottorin toiminta täysin myös pelkällä dieselillä ajettaessa. DDF-tekniikkaa on suhteellisen helppo soveltaa dieselmoottoreihin. Tämän takia erityisesti Pohjois-Amerikassa, jossa maakaasun saatavuus ja käyttö ovat yleisempää kuin Euroopassa, on retrofit DDF-moottoreilla varustettuja ajoneuvoja käytössä. Laivamoottoreissa DDF-palaminen on nykyään suhteellisen yleistä, ja DDF-moottoreita tekevät monet laivamoottorivalmistajat (kuten Wärtsilä) joidenka moottorit on kehitetty toimimaan molemmilla polttoaineilla optimoidulla tavalla. Lisäksi laivamoottoreita ajetaan tyypillisesti hyvin kapealla moottorin pyörimisnopeusalueella, jolloin palamisen optimoiminen on merkittävästi helpompaa kuin ajoneuvokäyttöön tarkoitetuilla moottoreilla.



Kuva 9: Tyypillinen esisekoittuneen DDF palamisen lämmönvapautuminen eri dieselin korvausasteilla [20].

Nykyisille DDF-moottoreille on tyypillistä korkea lähes dieselmoottorin veroinen hyötysuhde, johtuen korkeasta puristussuhteesta, nopeasta palamisesta (vrt. kuvassa 9 pelkkään dieseliin) sekä pienestä kaasunvaihtotyöstä. Koska DDF-palaminen on osittain esisekoittunutta liekkirintamapalamista, ovat DDF-moottoreiden hiukkaspäästöt myös selkeästi dieselmoottoria matalammat, ja hiukkaspäästöt voivat olla hyvinkin matalat suurilla dieselin korvausasteilla. Tyypillisesti myös  $\text{NO}_x$  päästöt ovat hiukan vastaavaa dieselmoottoria matalammat ja riippuvat niin ikään dieselin korvausasteesta.

DDF-moottorin dieselin korvausaste riippuu hyvin voimakkaasti moottorista ja vaihtelee tyypillisesti ajoneuvokäytössä välillä 40 % - 70% [10] [20] [21]. Korvausastetta rajoittavat muutamat moottorin konstruktiosta sekä termodynamiikasta johtuvat asiat. Alla on listattuna yleisimpiä korvausastetta rajoittavia tekijöitä perinteisillä DDF-moottoreilla:

- Korkeasta lambdasta johtuva "misfiring" (syttymättömyys) ja liekkirintaman etenemisen katkeaminen lähellä kiinteitä pintoja, ja siitä johtuvat korkeat HC-päästöt
- Nakutus
- Dieselsuuttimen kärjen ylikuumentuminen
- Sylinterin sisäisten kuumien pintojen aiheuttama kaasu-ilmaseoksen itsesyttyminen

Nykyisten tieliikenteessä käytettävien "retrofit"-DDF-moottorien haasteena ovat korkeat metaanipäästöt, jotka johtuvat alun perin vain dieselikäyttöön optimoidun moottorin läpi virtaamaan pääsevästä palamattomasta metaanista. Metaani on vaikea yhdiste katalyysaattoreille hapetettavaksi, sillä se vaatii muita moottoripalamisesta yleisesti syntyviä hiilivetyjä korkeamman lämpötilan (luokkaa  $>400\text{ °C}$ ), jotta hapetusreaktio tapahtuu. Tämä vaikeuttaa metaanipäästöjen vähentämistä oleellisesti, vaikka käytettäisiin metaanille suunniteltua katalyysaattoria. DDF-moottoreiden haasteena verrattuna SI-kaasumootoreihin ovat myös muut päästökomponentit. Johtuen moottorin toiminnasta ilmaylimäärällä ei kolmitiekatalyysaattoria voida käyttää  $\text{NO}_x$  päästöjen pelkistämiseen EU:n tai USA:n vaatimalle päästötasolle, vaan tarvitaan muita menetelmiä kuten SCR-tekniikka. Lisäksi Euroopassa vuosina 2017 ja 2018 työkoneille voimaantulevan Vaihe V päästötason hiukkaslukumäärärajan alittaminen ilman hiukkassuodatinta on DDF-moottorille käytännössä mahdotonta.

#### 4.2.3 Suoraruiskutteinen dual-fuel kaasumoottori

Suoraruiskutteisessa dual-fuel kaasumoottorissa kaasu ruiskutetaan suoraan palotilaan. Kaasu sytytetään pienellä pilotti-dieseluiskutusannoksella ja kaasun palaminen on tyypiltään diffuusiopalamista kuten dieselmoottorissa. Toisin kuin esisekoittunut DDF-kaasumoottori suoraruiskutteinen kaasumoottori tarvitsee toimiakseen aina kaasua ja on siten riippuvainen sekä kaasusta, että dieselpolttoaineesta.

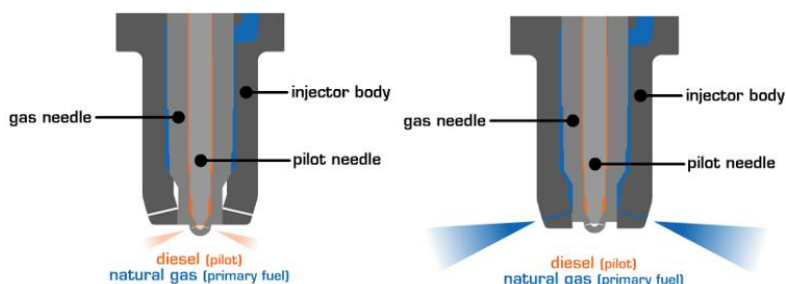


Johtuen diffuusiopalamisesta suoraruiskutteisessa dual-fuel kaasumootorissa ei ole palamisesta johtuvaa nakutusriskiä. Moottorin raakahiilivetypäästöt ovat samalla tasolla kuin dieselmootorissa ja siten merkittävästi matalammat kuin laihaseos SI- ja lambda 1 SI- tai esisekoittuneissa DDF-kaasumootoreissa<sup>2</sup>.

Kaasun suoraruiskutustekniikkaan liittyy muutama merkittävä haaste. Ensimmäinen on kaasun paineistaminen riittävän korkeaan paineeseen, jotta kaasu voidaan ruiskuttaa suoraan palotilaan palotapahtuman aikana. Sylinterin maksimipaineet voivat olla nykyaikaisissa HD-dieselmootoreissa jopa luokkaa 200 - 240 bar, mikä tarkoittaa sitä, että kaasun paineen täytyy olla merkittävästi korkeampi, reilusti yli 300 bar. Tämä aiheuttaa tarpeen kaasun lisäpaineistamiselle ajoneuvossa, mikä on haastavaa ja vaatii merkittävästi energiaa erityisesti CNG/CBG-tekniikalla toteutettuna. LNG-tekniikka soveltuu kaasun lisäpaineistukseen paremmin, sillä paineennosto voidaan tehdä kaasun ollessa nestemäisessä muodossa.

Toinen merkittävä haaste, joka liittyy suoraruiskutus-dual-fuel-kaasupalamiseen, on palamisen hallinta. Kaasumaisen polttoaineen diffuusioliekin tunkeuma ja käyttäytyminen ovat merkittävästi vaikeimmin hallittavissa palotapahtuman aikana kuin nestemäisen polttoaineen. Tästä seuraa haasteita palamistapahtumaan vaihtelevissa moottorin kuormitusolosuhteissa. Työkonemootorikokoluokassa suoraruiskutusuuttimien koko saattaa muodostua myös haasteelliseksi, sillä suuttimessa täytyy olla virtauskanavat molemmille polttoaineille sekä pilottidieselille että kaasulle, Kuva 10.

Tällä hetkellä markkinoilla ei ole yhtään moottorivalmistajaa, jolla olisi mallistossaan suoraruiskutteisia dual-fuel kaasumootoreita. Suoraruiskutussuutinlaitteistoja markkinoi kuitenkin muutamat valmistajat kuten Westport ja Delphi. Lisäksi ainakin Caterpillarilla on tutkimuksen alla Westport:n HPDI tekniikalla toimivia dual-fuel dumppereita [22].



Kuva 10: Westport HPDI suoraruiskutuskasuiinjektori [23].

### 4.3 Tutkimus- ja tuotekehitysnäkymät tulevaisuudessa

Kaasumootoreiden tutkimus- ja tuotekehitys maailmanlaajuisesti työkonikäyttöön on ollut tähän mennessä hyvin vähäistä verrattuna perinteisiin dieselmootoreihin. Uusien entistä tiukempien päästönormien (kuten työkoneille tuleva Vaihe V ja tulevaisuudessa mahdollisesti säännösteltäväksi tuleva CO<sub>2</sub> päästökomponentti) voimaantulon sekä kaasun jakeluverkostojen laajentumisen myötä lisääntynee maailmanlaajuisesti myös kiinnostus kaasumootoreiden tutkimusta ja tuotekehitystä kohtaan. Vastaavanlaista kehitystä on ollut maailmanlaajuisesti jo tieliikenteen raskaankaluston puolella.

<sup>2</sup> Stoikiometrisellä seossuhteella toimivan SI-kaasumootorin hiilivetypäästöt saadaan helposti hapeitetua TWC:llä alle Euro VI tai tulevan Vaihe V päästövaatimuksen.

Osana tätä selvitystä kartoitettiin kyselyiden avulla kaasualan, työkonealan teollisuuden, lainsäädännön sekä käytön edustajien näkemyksiä liittyen kaasukäyttöisten työkoneiden nykytilanteeseen sekä tulevaisuuden näkymiin. Kyselyt tehtiin seuraaville tahoille:

- AGCO Power Oy
- Gasum Oy
- Lännen Tractors Oy
- Sampo-Rosenlew Oy
- Stara
- Trafi
- Valtra Oy
- Vilakone Oy

Kysymykset vastauksineen ovat LIITE A:ssa.

#### 4.3.1 Tutkimuksen ja kehityksen tilanne yleisesti

Kyselyyn osallistuneiden yritysten osalta Suomessa kaasukäyttöisten työkoneiden tutkimusta ja kehitystä on lähivuosina ainoana tehnyt Valtra Oy. Valtra on valmistanut rajallisen määrän dual-fuel-kaasutekniikalla toimivia traktoreita, mutta tuote ei ole sarjatuotannossa. Valtralla kaasukäyttöisestä traktorista on käyttökokemusta, niin laboratorio- kuin kenttäolosuhteista.

Muilla kyselyyn osallistuneilla työkonevalmistajilla ei ollut kokemuksia kaasukäyttöisistä työkoneista.

Suomalaisella työkonemoottorivalmistajalla AGCO Power Oy:llä ei ole myöskään tällä hetkellä kaasumootoreihin liittyvää T&K -toimintaa, mutta tulevaisuuden tarpeista on selvitystyö käynnissä.

Merkittävimmäksi syiksi vähäiselle T&K-toiminnalle mainittiin kaasumootoreiden tyyppihyväksynnän puuttuminen, kaasun jakeluverkoston vajavaisuus sekä vielä vähäinen kysyntä kaasukäyttöisille työkoneille.

#### 4.3.2 Työkoneiden asettamat vaatimukset kaasumootoreille

Työkoneet ovat tyypillisesti hyvin kompakteja ajoneuvoja, joissa moottori on usein osa kantavaa runkorakennetta ja runkorakenteeseen kiinnitetään erilaisia työlaitteita. Lisäksi työkoneissa on äärimmäisen tärkeää työturvallisuuden sekä itse työn tekemisen takia se, että kuljettajalla on ohjaamosta mahdollisimman hyvä ja esteetön näkyvyys joka suuntaan. Tästä seuraa se, että työkoneissa on hyvin rajalliset sijoitusmahdollisuudet ylimääräisille säiliöille.

Työkoneiden toimintaympäristö on myös hyvin haasteellinen asettaen työkoneiden pohjan jatkuvasti alttiiksi kosketukseen esimerkiksi kivien, maanpinnan ja puiden kanssa. Työkoneita käytetään myös usein kaupunkiolosuhteiden tai muun rakennetun ympäristön ulkopuolella, jolloin työkoneella täytyy pystyä operoimaan koko työpäivä ilman välipolttoainetankkauksia.

Yllä mainituista seikoista johtuen merkittävin haaste kaasukäyttöisille työkoneille syntyy juuri riittävän suurien kaasusäiliöiden sijoittamisesta työkoneeseen. Esimerkiksi CNG:n energiatiheys [MJ/l] on noin 20 - 25 % dieselpolttoaineen energiatihedestä tarkoittaen sitä, että paineesta riippuen (200 - 250 bar) CNG vaatii luokkaa 4 - 5 kertaa suuremman tilavuuden polttoainesäiliöille kuin dieselpolttoaine. Tämä aiheuttaa suuria haasteita saada sijoitettua tarvittava määrä kaasusäiliöitä jo ennestään tilanpuutteesta kärsiviin työkoneisiin.

Nesteytetyn kaasun (LNG tai LBG) energiatiheys on CNG:tä selkeästi korkeampi luokkaa 60 % dieselpolttoaineesta. LNG onkin tämän takia yleinen kaasun säilöntämuoto pitkän matkan rekoissa. Nesteytetyn kaasun ongelma on sen jatkuva höyrystyminen, jonka seurauksena



höyrystynyttä kaasua joudutaan vapauttamaan tankista säännöllisesti tankin paineen pitämiseksi stabiilina. Tämä ei ole ongelma, jos ajoneuvo on liikkeessä lähes jatkuvasti ja höyrystynyt kaasu voidaan käyttää moottorissa saman tien. Työkoneet saattavat kuitenkin seistä useita päiviä ilman, että moottori on käynnissä, jolloin purkautuvalle kaasulle täytyisi olla oma säilöntämenetelmä ajoneuvossa. Lisäksi nesteytetyn kaasun tankkausasemia on huomattavasti vähemmän kuin paineistetun kaasun tankkausasemia. Yllä mainittujen asioiden takia nesteytettyä kaasua (LNG, LBG) ei voida pitää varteenotettavana ratkaisuna liikkuvien työkoneiden polttoaineeksi.

Teknisenä haasteena kaasukäyttöisille työkoneille LIITE A:n kyselyissä työkonevalmistajien ja käyttäjien osalta nousi esiin juuri kaasusäiliöiden sijoittamisen haasteellisuus. Kaasusäiliöt eivät saa estää kuljettajan näkyvyyttä eivätkä estää työlaitteiden kiinnittämistä.

Toinen käyttäjien mainitsema kaasukäyttöisiin työkoneisiin liittyvä haaste on korjaamotilojen nykyiset määräykset, jotka saattavat estää kaasutyökoneiden korjaamisen suljetuissa korjaamotiloissa (LIITE A: Stara).

#### 4.3.3 Kehitysnäkymät Suomessa ja maailmanlaajuisesti

Kaasulla toimivien työkoneiden tuotekehitykseen lähitulevaisuudessa vaikuttaa suuresti kaasukäyttöisten koneiden kysyntä, kaasunhinnankehitys suhteessa dieselpolttoaineeseen sekä kaasunjakeluverkoston kehittyminen. Kaasukäyttöisten työkoneiden osuus koko työkonekannasta ei tule tulevaisuudessa kasvamaan Suomessa tai maailmanlaajuisesti suureksi suhteessa dieselmotorisiin työkoneisiin.

Kaasulla toimivien työkoneiden tutkimukseen ja tuotekehitykseen tulee vaikuttamaan myös merkittävästi se, että miten tulevan Vaihe V päästöstandardin alaisten matalan teholuokan dieseltä työkoneiden DPF:n passiivinen regenerointi onnistuu ilman merkittäviä ongelmia työkoneen käyttäjälle. Näitä ongelmia voivat olla merkittävästi kasvanut dieselpolttoaineenkulutus tai pahimmassa tapauksessa työkoneen normaalin käytön merkittävä hankaloituminen, johtuen tiheästä DPF:n regenerointitarpeesta. Tämän tyyppisiä ongelmia on jo nyt havaittavissa Vaiheen IV matalan tehotason työkoneissa (LIITE A: Lännen Tractors).

Raskaan ja keskiraskaan tieliikenteen tarpeisiin (rekka-autot, bussit, kevyet kuorma-autot ja pakettiautot) tullaan kehittämään tulevaisuudessa myös kaasulla toimivia ajoneuvoja, ja niiden osuus tulee kasvamaan nykyisestä jonkin verran jäaden kuitenkin selkeästi dieselmotoristen ajoneuvojen osuudesta.

Raskaan ja keskiraskaan tieliikennekaluston tarpeisiin kehitettävät uudet kaasumootorit tulevat lisäämään myös työkonekäyttöön tarjolla olevien kaasumootoreiden tarjontaa.

## 5. Mahdolliset kehityspolut ja suositukset jatkotoimenpiteistä

---

### 5.1 Mahdolliset kehityspolut

Kaasun käyttöä energianlähteenä työkoneissa rajoittaa merkittävimmin työkoneiden käyttö ympäristössä, jossa ei ole kaasuntankkausasemia lähetyvillä, paineistetun kaasun matala energiasisältö [MJ/l], ja siitä johtuva dieselpolttoainetta merkittävästi suurempi polttoainesäiliöiden tilavuus. Tämä rajaa kaasunkäytön suoraan pois suuresta osasta työkonetyyppejä. Kaasunkäytölle potentiaalisimpien työkoneiden tulisikin täyttää alla olevat ehdot:

- Matala kokonaisenergiankulutus -> Pienitehoiset työkoneet
- Matala keskimääräinen työkoneen kuormitusaste, keskiteho luokkaa < 50 %
- Käyttöympäristö lähellä kaasuntankkausasemia

Nämä kriteerit täyttävät parhaiten kaupunkien katujen ja rakennusten pihojen kunnossapidosta vastaavat pienemmän kokoluokan työkoneet sekä maatalojen ”yleistraktorit”, jotka ovat myös kooltaan yleensä pieniä ja joilla tehdään pääsääntöisesti kevyitä töitä, silloin kun maatilalla on itsellään biokaasun tuotantoa.

Taulukkoon 2 on koottu yleisimpiä työkonetyyppejä ja arvioitu kaasun soveltuvuutta energianlähteeksi niissä. Soveltuvuutta on arvioitu alla olevasti:

Ei sovellu	= Kaasu ei sovellu energialähteeksi ko. työkoneessa
Huono	= Kaasu energialähteenä rajoittaisi työkoneen käyttöä merkittävästi
Voisi soveltua	= Kaasu energialähteenä voisi soveltua ko. työkonetyyppiin
Vaihteleva	= Sopii huonosti osaan käyttökohteista/ympäristöistä, mutta voisi sopia osassa käyttökohteita
Soveltuu	= Käytössä on jo kaasulla toimivia ko. tyyppin työkoneita

Taulukko 2: Kaasukäytön soveltuvuus yleisimpiin työkonetyyppeihin.

Työkonetyyppi	Tehoalue	Käyttötarkoitus	Käyttöympäristö	Kaasumoottoreiden soveltuvuus
Maataloustraktorit	> 100 kW	Raskaat viljelymaan muokkaustyöt	Maatilan peltoalueet	Ei sovellu
	56 kW < P < 100 kW	Kevyet maatilan yleistyöt (etukuormaintyö, niittotyö, peräkäryn veto jne..)	Maatilan pihapiiri ja peltoalueet	Vaihteleva / voisi soveltua
	< 56 kW	Kevyet maatilan yleistyöt (etukuormaintyö, kevyt niittotyö, peräkäryn veto jne..)	Maatilan pihapiiri ja peltoalueet	Voisi soveltua
Leikkuupuimurit	Kaikki	Viljakasvien leikkuu	Maatilan peltoalueet	Ei sovellu
Kurottajat	< 100 kW	Kuorman siirtäminen	Maatilan pihapiiri ja lähiympäristö, varastoalueilla lastinkäsittely	Voisi soveltua
Metsätyökoneet: Kuormatraktori Harvesteri	Kaikki	Puun katkaiseminen ja kuljettaminen	Leimikot	Ei sovellu
Maansiirtokoneet: Kaivinkone Pyöräkuormaaja Dumpperi	< 560 kW	Maansiirtotyöt	Maansiirtotyömaat	Ei sovellu
Kaivoskoneet	> 560 kW	Maa-aineksen siirtäminen kaivoksissa	Kaivokset, käyttö 24/7	Soveltuu (LNG)
Monitoimikoneet	> 100 kW	Etukuormaimen ja takakaivimen monitoimityöt	Sekalainen	Ei sovellu
	< 100 kW	Etukuormaimen ja takakaivimen monitoimityöt	Sekalainen, lähellä rakennettua ympäristöä	Vaihteleva
Kiinteistön huoltotraktorit	> 100 kW	Katujen ja pihojen kunnossapito	Kaupunkiympäristö	Vaihteleva
	56 kW < P < 100 kW	Katujen ja pihojen kunnossapito	Kaupunkiympäristö	Voisi soveltua
	< 56 kW	Katujen ja pihojen kunnossapito	Kaupunkiympäristö	Voisi soveltua
Haarukkatrukut	< 75 kW	Tavaran siirtäminen	Rakennettuympäristö	Soveltuu

Kehityspolut, joilla voidaan edistää kaasun käyttöä työkoneissa, voidaan jakaa alla olevaan kolmeen osakokonaisuuteen:

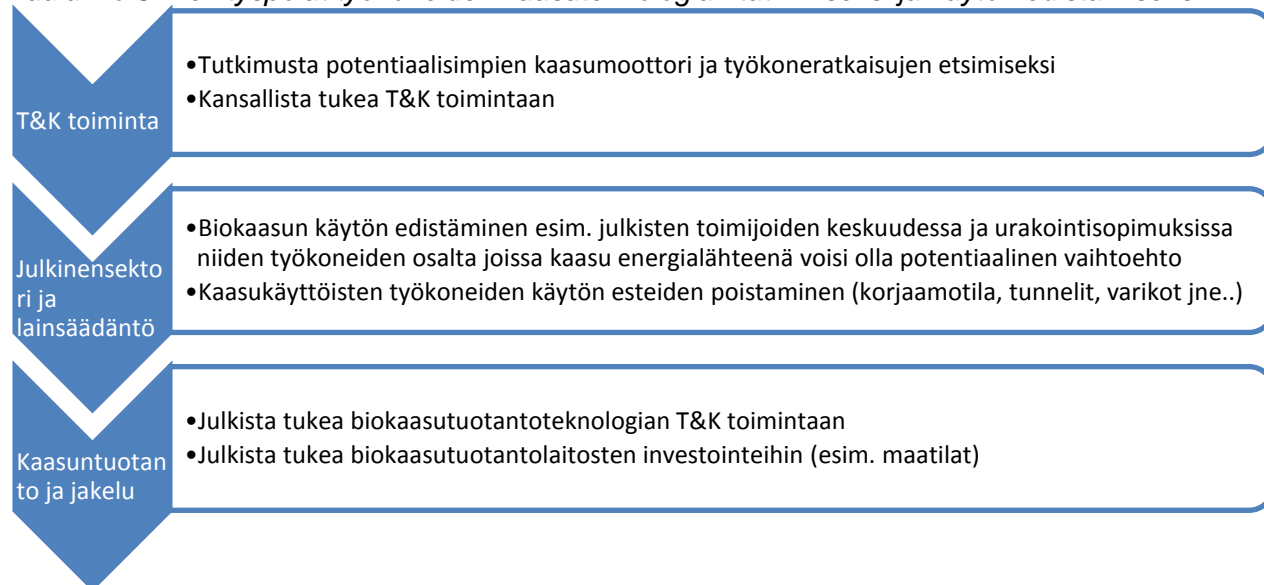
1. Kaasulla toimivien työkonien tutkimuksen ja tuotekehityksen tukeminen
2. Julkisensektorin ja lainsäädännön toimenpiteet biokaasukäytön edistämiseksi
3. Biokaasun tuotannon ja jakelun kasvattaminen

Tällä hetkellä kaasutyökoneiden kysyntä on vähäistä, ja siksi työkonealan teollisuus ei ole valmis investoimaan merkittävästi kaasutyökoneteknologian tutkimiseen. Tästä seuraa se, että julkisen sektorin rooli on väistämättä merkittävä niin tutkimuksen rahoittamisessa kuin biokaasun käytön edistämässä, mikäli biokaasun käyttöä halutaan edistää työkoneissa.

Mikäli viranomaiset katsovat tarpeelliseksi rajoittaa dieselautojen käyttöä kaupunkiympäristössä, kuten on jo tapahtunut esimerkiksi osassa Euroopan kaupungeista, olisi myös luontevaa suosia kaasukäyttöisten työkonien käyttöä. Tällöin kaasukäyttöisten työkonien kysyntä kasvaisi merkittävästi katujen ja rakennusten ylläpitotehtävissä.

Taulukossa 3 on esitetty yllä olevan listauksen kolme osakokonaisuutta, joilla kaasulla toimivien työkonien tutkimusta ja käyttöä voitaisiin edistää.

*Taulukko 3: Kehityspolut työkonien kaasuteknologian tutkimiseksi ja käytön edistämiseksi.*



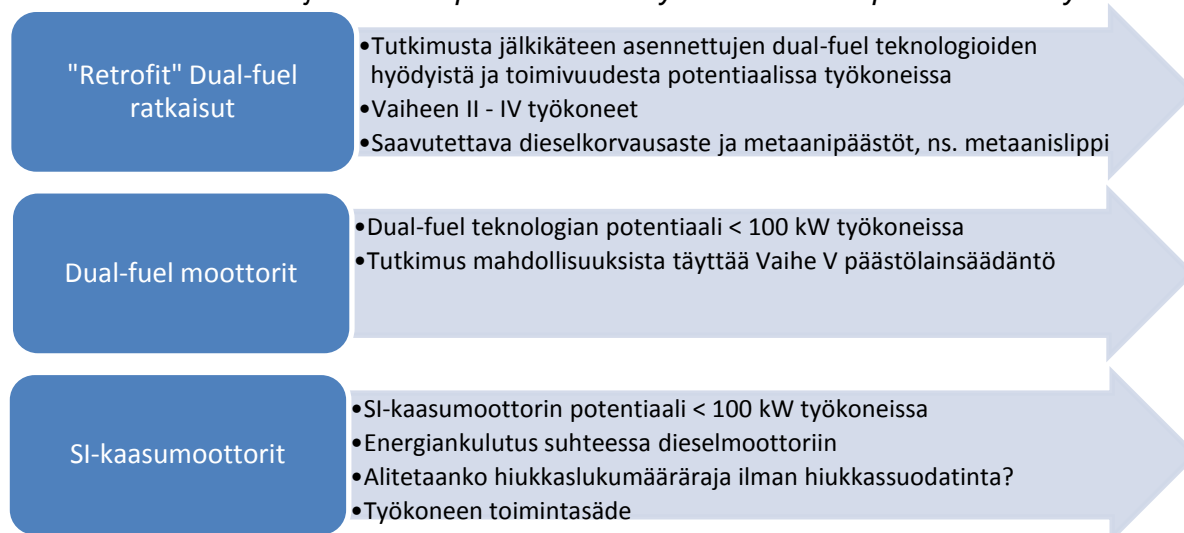
## 5.2 Suositukset jatkotoimenpiteiksi

Jatkotoimenpiteinä kaasun mielekkyyden ja soveltuvuuden selvittämiseksi työkonien polttoaineena on eri kaasumoottoriteknologioiden tarkempi selvitys ja perustutkimus välttämätöntä. Alla on listattuna kolme kyseeseen tulevaa eri teknologiavaihtoehtoa:

1. "Retrofit" dual-fuel -ratkaisujen soveltuvuus vanhoihin työkonisiin
2. Dual-fuel -ratkaisun soveltuvuus ja potentiaali tulevassa Vaiheen V päästölainsäädännössä
3. SI-kaasumoottorin soveltuvuus ja potentiaali tulevassa Vaiheen V päästölainsäädännössä

Taulukossa 4 on listattuna yllä olevat teknologiavaihtoehdot, joiden soveltuvuutta taulukon 2 potentiaalisimmissa työkonissa tulisi jatko selvittää ja tutkia.

*Taulukko 4: Suositellut jatkotoimenpiteet kaasunkäytöntutkimiseksi polttoaineena työkonissa.*



Taulukossa 5 on arvioitu taulukon 4 eri teknologiavaihtoehtojen mahdollisuuksia, haasteita ja riskejä työkonekäytössä. Yleisesti ottaen suurimmat haasteet ja riskit kaasunkäytölle energianlähteenä työkoneissa aiheutuu kaasunjakeluverkoston heikosta saatavuudesta, dieselpolttoaineen edullisesta hinnasta suhteessa bio- tai maakaasuun sekä pienestä määrästä kaasunkäytölle potentiaalisia työkonetyppejä. Yllä mainittujen yleisten riskien ja haasteiden toteutuessa seuraa väistämättä myös tulevaisuudessa heikko kysyntä kaasukäyttöisille työkoneille vaikka ne olisivat teknisesti järkeviä vaihtoehtoja dieselkäyttöisille työkoneille.

*Taulukko 5: Kaasumoottoriteknologioiden mahdollisuuksia, haasteita ja riskejä työkoneissa.*

Teknologia	Mahdollisuudet	Haasteet	Riskit
"Retrofit" Dual-fuel ratkaisut	Kaasun käyttö dieselin ohessa vanhoissa työkoneissa  Dieseliä matalammat hiukkas ja NO <sub>x</sub> päästöt  Biokaasulla dieseliä pienemmät CO <sub>2</sub> päästöt	Korkeat metaanislippipäästöt => Iso negatiivinen GHG vaikutus  Dieselin korvausaste jää matalaksi  Moottorin toiminta  Kaasutankkien sijoittelu työkoneissa	"Retrofit" ratkaisu ei ole taloudellisesti järkevä, vaikka kaasun hinta olisi edullinen suhteessa dieseliin (dieselkorvausaste jää matalaksi)  "Retrofit" ratkaisun päästöjä ei saada alle lain vaatiman tason
Dual-fuel moottorit  (esisekoittunut palaminen)	Kaasunkäyttö dieselin ohessa  Biokaasulla dieseliä pienemmät CO <sub>2</sub> päästöt  Kaasutankin koko ei ole työkoneenkäytön kannalta kriittinen  Dieselmoottorin tasoinen energiatehokkuus	Korkea hinta (Vaatii Vaihe V:ssä samat pakokaasunjälkikäsittelylaitteet kuin dieselmoottori)  Haastava saada toimimaan yhdessä dieselmoottorinohjauksen kanssa  Korkea dieselin korvausaste (> 70 %) voi olla haastava saavuttaa  Metaanislippipäästöt => negatiivinen GHG vaikutus  Kaasutankkien sijoittelu Vaihe V työkoneissa	Dual-fuel käytöstä taloudellisesti hyötyvät käyttäjät rajoittuvat vain sellaisiin, joilla on omaa biokaasutuotantoa, jolloin käyttäjäkunta jää hyvin pieneksi
SI-kaasumoottorit	Vaiheen V päästötason täyttäminen pelkällä kolmitiekatalyysaattorilla  "Globaalimoottori" (Vaihe V:n moottori täyttää sellaisenaan myös LRC päästövaatimukset)  Yksinkertainen pakokaasujen jälkikäsittelylaitteiston lämmönhallinta  Alle 56 kW teholuokassa dieseliä selkeästi matalammat NO <sub>x</sub> päästöt  Alle 56 kW teholuokassa dieseliä matalammat CO <sub>2</sub> päästöt biodieselillä sekä maakaasulla  Hiljainen käyntiääni	Energiankulutus 56 - 100 kW teholuokassa  Kaasutankkien sijoittelu työkoneissa  Onko mahdollista täyttää Vaiheen V hiukkaslukumääräraja ilman hiukkassuodatinta	Potentiaalisten työkoneiden määrä jää vähäiseksi, jolloin työkoneen hinnasta ei saada kilpailukykyistä

## 6. Yhteenveto

---

Tällä hetkellä kaasumootoreiden käyttö työkoneissa on hyvin vähäistä ja rajoittuu oikeastaan täysin haarukkatrukkeihin, joissa käytetään polttoaineena yleisesti LPG:tä. Muiden työkoneiden osalta puuttuu tällä hetkellä valmiit markkinat kaasulla toimiville työkoneille. Vaihe V päästöstandardin myötä osassa <100 kW teholuokan kevyellä kuormituksella ja rakennetun ympäristön lähettyvillä toimivilla työkoneilla biokaasu voisi tulla kysymykseen energialähteenä ja tarjota jopa hyvän vaihtoehdon perinteiselle dieselille toimiville työkoneille.

Biokaasunkäytön edistämiseksi työkoneissa tarvitaan kuitenkin lisätutkimusta ja selvitystä eri kaasumootoritekniologioiden sopivuudesta potentiaalisimpiin työkoneityyppeihin. Biokaasunkäyttöä tulisi edistää myös julkisten toimijoiden keskuudessa ja toimesta sekä urakointisopimuksissa (niiden työkoneilla suoritettavien työtehtävien osalta), joissa biokaasu voisi olla potentiaalinen vaihtoehto. Lisäksi biokaasuntuotantoteknologiaan sekä biokaasuntuotantolaitosten tutkimiseen sekä julkiseen tukeen tulisi panostaa lisää. Kaasuntankkausasemien määrän kehittämisellä on myös merkittävä osa kaasulla toimivien työkoneiden yleistymisessä. Ilman kattavaa kaasuntankkausasemaverkostoa ei kaasulla toimivat työkoneet voi yleistyä edes potentiaalisimmissa sovelluskohteissa.

Kokonaisuudessaan kaasukäyttöisten työkoneiden lukumäärä tulee jäämään työkoneiden keskuudessa tulevaisuudessa melko vähäiseksi, keskittyen lähinnä pienen koko ja teholuokan työkoneisiin, jotka toimivat rakennetun ympäristön tai maatilojen lähipiirissä.



## 7. Lähteet

---

- [1] "Steyr: Profi 6125 Erdgas," Steyr Traktoren, [Online]. Available: <http://www.profi.de/neuheiten/Traktoren-136-PS-Schlepper-mit-Erdgasantrieb-als-Vorserienmodell-545681.html>. [Haettu 20 12 2016].
- [2] "Deutz-Fahr fährt mit Erdgas," Deutz-Fahr, [Online]. Available: <http://www.agrarheute.com/traction/news/deutz-fahr-faehrt-erdgas>. [Haettu 20 12 2016].
- [3] "New Holland Methane Power Tractor," New Holland, [Online]. Available: <http://agriculture.newholland.com/ir/en/WNH/CEL/Pages/methane.aspx>. [Haettu 20 12 2016].
- [4] "Valtra Dual Fuel tractors - The natural choice," Valtra, [Online]. Available: <http://www.valtra.com/dual-fuel.aspx>. [Haettu 20 12 2016].
- [5] "Cummins Westport - Find a Natural Gas Truck or Bus," Cummins Westport, [Online]. Available: <http://www.cumminswestport.com/find-a-natural-gas-truck-or-bus>. [Haettu 20 12 2016].
- [6] "MAN Lion's City CNG," MAN Truck & Bus, [Online]. Available: <http://www.bus.man.eu/de/en/city-buses/man-lions-city-cng/overview/Overview.html>. [Haettu 20 12 2016].
- [7] "Iveco Urbanway CNG," Iveco, [Online]. Available: <http://www.iveco.com/ivecobus/it-it/prodotti/pages/iveco-bus-cng.aspx>. [Haettu 20 12 2016].
- [8] "Citaro NGT," Mercedes Benz, [Online]. Available: <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/vehicles/buses/next-stop-green-city/>. [Haettu 20 12 2016].
- [9] "Työryhmän ehdotus liikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluverkon suunnitelmaksi," Liikenne- ja viestintäministeriö, 2016.
- [10] N.-O. Nylund, H. Kuutti ja J. Laurikko, "Study on actual use of DDF and LNG technology in freight vehicles - Final report on 30 March 2015," VTT, 2015.
- [11] "New Iveco Stralis NP," Iveco, [Online]. Available: <http://www.iveco.com/uk/products/pages/gas-engine-stralis-np-truck.aspx>. [Haettu 20 12 2016].
- [12] VTT, "TYKO - Suomen työkoneiden päästömalli," Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, 2015. [Online]. Available: <http://lipasto.vtt.fi/tyko/index.htm>. [Haettu 19 12 2016].
- [13] "Suomen kaasuyhdistys - Statistics," Suomen kaasuyhdistys, [Online]. Available: <http://www.kaasuyhdistys.fi/sisalto/statistics>. [Haettu 20 12 2016].
- [14] M. Mutikainen, K. Sormunen, H. Paavola, T. Haikonen, M. Väisänen ja Rambol Finland, "Biokaasusta kasvua: Biokaasuliiketoiminnan ekosysteemien mahdollisuudet," Sitra, 2016.
- [15] "Tulevat kaasutankkausasemat," Gasum Oy, [Online]. Available: <https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/tulevat-tankkausasemat/>. [Haettu 20 12 2016].
- [16] Työ- ja elinkeinoministeriö, "Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030," Työ- ja elinkeinoministeriö, 2016.
- [17] "Emission Standards - EU:Nonroad Engines," Dieselnet, [Online]. Available: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php#s3>. [Haettu 20 12 2016].
- [18] "Understanding Emission Regulations," John Deere, [Online]. Available: [https://www.deere.com/en\\_US/services\\_and\\_support/engine-information/understanding-emission-regulations/understanding-emission-regulations.page](https://www.deere.com/en_US/services_and_support/engine-information/understanding-emission-regulations/understanding-emission-regulations.page). [Haettu 20 12 2016].
- [19] "IEA-AMF Methane (natural gas, biomethane)," IEA, [Online]. Available: [http://www.iea-amf.org/content/fuel\\_information/methane](http://www.iea-amf.org/content/fuel_information/methane). [Haettu 8 12 2016].

- [20] "CumminsWestport - Engines," Cummins Westport, [Online]. Available: <http://www.westport.com/products/engines/cummins-westport/>. [Haettu 29 12 2016].
- [21] R. Pettinen, "Dual-fuel combustion characterization on lean conditions and high loads," *Master's Thesis*, p. 52, 2016.
- [22] E. E. Lindvall, S. Törnquist, O. Enghag ja E. Lundström, "Biogas Operation in Non-Road," 2015.
- [23] "Caterpillar Previews Natural-Gas Powered Product Initiative at MINExpo," Caterpillar, 09 2012. [Online]. Available: [http://www.cat.com/en\\_US/news/engine-press-releases/caterpillar-previewsnaturalgaspoweredproductinitiativeatminexpo.html](http://www.cat.com/en_US/news/engine-press-releases/caterpillar-previewsnaturalgaspoweredproductinitiativeatminexpo.html). [Haettu 27 02 2017].
- [24] "Cummins Westport - First Generation Westport™ HPDI Technology," Cummins Westport, [Online]. Available: <http://www.westport.com/is/core-technologies/combustion/hpdi>. [Haettu 24 02 2017].

## LIITE A: Selvitykseen tehty kyselyt

### AGCO Power Oy

<b>1. Onko teillä kaasumoottoreita moottorivalikoimassa tällä hetkellä?</b>
<i>Ei ole.</i>
<b>2. Onko teillä kaasumoottoreihin keskittyvää T&amp;K tällä hetkellä ja miten arvioisitte tulevaisuutta niihin kohdistuvan T&amp;K:n osalta?</b>
<i>Tällä hetkellä ei ole, mutta tulevaisuuden tarpeesta on selvitys käynnissä. Todennäköisesti 2020 jälkeen tulee T&amp;K tarpeita.</i>
<b>3. Miten arvioisitte kaasun, niin paineistettu kuin nesteytetty, soveltuvuuden maataloustraktorin polttoaineeksi ja mitä haasteita näette kussakin?</b>
<i>Ehkä merkittävien haaste on kaasusäiliöiden koko eli toiminta-aika tankkausten välillä. Tällä hetkellä nykyinen jakeluinfrastruktuuri ei vielä tue riittävästi kaasuersioiden yleistymistä.</i>
<b>4. Miten arvioisitte eri kaasumoottoritekniikoiden (kipinäsytytteinen ja dual-fuel(diesel-kaasu)) soveltuvan maataloustyökoneisiin ja mitä heikkouksia ja vahvuuksia kussakin on?</b>
<i>Molemmat soveltuvat. Kipinäsytytteisen etuja ovat tunnettu päästöjenhallintateknikka ja yksinkertainen rakenne. Haittana on huonompi hyötysuhde. Dual-fuel-tekniikan etu on mahdollisuus käyttää myös dieselpolttoainetta ja hyvä terminen hyötysuhde. Haittana on heikompi kaasun käyttöaste sytytyspolttoaineen tarpeen vuoksi ja monimutkainen päästöjen hallinta. Myös perusmoottori on kahden polttoainejärjestelmän takia monimutkaisempi.</i>
<b>5. Voisiko kaasumoottori olla teidän mielestänne kiinnostava ratkaisu valikoituihin moottoriteholuokkiin ja päästötasolle esim. vähemmän säännöstellyt vs. tiukasti säännöstellyt maat ja eri teholuokat ja jos on niin miten?</b>
<i>Kaasumoottorin kiinnostavuus riippuu kaasun paikallisesta saatavuudesta. Useimmissa maissa vaaditaan tyyppihyväksyntää päästöjen suhteen vaatimustasosta riippumatta, eikä kaasukäyttöä ole yleensä huomioitu lainkaan. Yleisesti ottaen vaikuttaa siltä että työkonemoottorien Tier3 taso olisi järkevästi saavutettavissa DF tekniikalla. Sitä tiukemmissa päästötasoissa kustannus/tilantarve asiat tulevat haasteellisiksi. Kipinäkoneilla voisi olla mahdollisuuksia matalampiinkin päästötasoihin. Esim. tuleva EU Stage V onnistuisi ilmeisesti varsin yksinkertaisella konseptilla maltillisissa tehoissa (&lt;56 kW).</i>
<b>6. Vaikuttaako tuleva Stage V päästölainsäädäntö mielestänne kaasumoottoreiden potentiaaliin valikoiduissa moottoriteholuokissa, jos vaikuttaa niin miten?</b>
<i>Varmasti vaikuttaa, jos vaihtoehtopolttoaineet huomioidaan tyyppihyväksynnässä. Näillä näkymin Stage V raja-arvot ovat samat eri polttoaineilla. Kaikissa teholuokissa, joissa pitää diesel-päästövaatimuksen takia joka tapauksessa olla DOC+DPF+SCR –yhdistelmä, kaasulaitteistojen ja –säiliöiden asennointi niiden lisäksi voi olla erittäin haasteellista.</i>
<b>7. Minkä tyyppisissä (koko ja käyttötarkoitus) työkoneissa teidän mielestänne kaasumoottori voisi tulla kyseeseen?</b>
<i>Maataloustraktori voisi olla sopiva käyttökohde pienemmissä ja keskiteholuokissa. Kaikkein suuritehoisimpien koneiden käyttöasteet ovat suurempia, jolloin dieselkäyttö on luultavasti halutuinkin vaikka kaasua olisi saatavilla. Kaikista potentiaalisin sovelluskohde voisivat olla pikkutraktorit &lt;56 kW teholuokassa.</i>
<b>8. Onko maatalouden, kiinteistönhuollon, metsätalouden tai muiden käyttäjien tai laitevalmistajien suunnalta ilmennyt kiinnostusta kaasumoottorilla toimiville työkoneille ja jos on niin mikä on ollut asiakkaiden kiinnostuksen syy?</b>
<i>Käyttäjien suunnalta ei oleellista kiinnostusta. Pari traktorinvalmistajaa on osoittanut kiinnostusta. Olettaisimme kiinnostuksen johtuvan viranomaisten pyrkimyksestä hyödyntää maataloudessa syntyvää metaania ja vähentää sen pääsyä ilmakehään.</i>
<b>9. Oletteko mukana jollain tavalla edistämässä biokaasun käyttöä maataloudessa tai työkoneissa yleisesti?</b>
<i>Emme toistaiseksi.</i>

<b>10. Näettekö biokaasun hyödyntämisen maataloustyökoneiden polttoaineena potentiaalisena ratkaisuna tulevaisuudessa osansa CO<sub>2</sub> päästöjä alentavista toimista sekä yhtenä fossiilisten polttoaineiden korvaajista?</b>
<i>Maataloudessa syntyvän metaanin hyödyntäminen on kannatettavaa, mutta moottorikäytöllä tuskin tulee olemaan kovin merkittävää osuutta. Näin erityisesti, jos niiden käyttö painottuu pienimpiin teholuokkiin. Huomattavasti järkevämpi tapa vaikuttaa CO<sub>2</sub> -haasteeseen on edistää vetykäsiteltyjen biodieselpolttoaineiden käyttöä.</i>
<b>11. Miten näette kaasumoottoreiden tulevaisuuden yleisesti ottaen Euroopassa, USA:ssa ja vähemmän säännöstellyissä maissa?</b>
<i>Polttoainevalikoiman monipuolistumista tulee tapahtumaan ja kaasun käyttö epäilemättä lisääntyy, todennäköisimmin Euroopassa ja USA:ssa. Kaasun jakelu jäänee kuitenkin melko paikalliseksi, jolloin käyttösovellukset ovat sellaisissa ajoneuvoissa ja työkoneissa, jotka voidaan tankata samalla tankkauspaikalla.</i>
<b>12. Onko lainsäädännössä mielestänne jotain kehitettävää tai muutettavaa kaasu- ja biokaasutyökoneisiin liittyen?</b>
<i>Päästölainsäädännössä tulisi huomioida erilaiset polttoaineet eikä niin, että dieselpolttoaine on ainoa mahdollisuus tyyppihyväksynnässä. Raja-arvojen suhteen voisi käyttää sellaista harkintaa, että pienemmillä vuotuisilla käyttötunneilla olevat koneet sallittaisiin hieman suuremmalle päästötasolle.</i>

## Gasum Oyj

<p><b>1. Mitä kaasualaan ja biokaasuun liittyviä palveluita tai tuotteita Gasum Oy tarjoaa tällä hetkellä ja onko suunnitelmissa tuoda markkinoille tulevaisuudessa uusia?</b></p> <p><i>Energia-yhtiö Gasum on suomalainen kaasualan (maa- ja biokaasu) asiantuntija, joka rakentaa siltaa kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa maalla ja merellä. Yhtiö edistää kestävän energiatalouden syntyä lisäämällä kotimaisen biokaasun tarjontaa, kehittämällä pohjoismaista kaasuekosysteemiä ja huolehtimalla kaasun hintakilpailukyvyistä. Yhtiö tuo Suomeen maakaasua, tuottaa ja jalostaa biokaasua sekä siirtää ja toimittaa niitä energiantuotantoon, teollisuudelle, kotitalouksille ja maa- ja meriliikenteelle. Gasum on Suomen johtava biohajoavien jätteiden käsittelijä ja biokaasun tarjoaja. Gasumin tytäryhtiö Skangas on nesteytetyn maakaasun (LNG) johtava pohjoismainen osaaja, joka jatkaa LNG:n aseman ja infrastruktuurin vahvistamista ja uusien kaasuratkaisuiden hyödyntämistä Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Skangasilla on LNG-tuotantolaitos Risavikassa Norjassa ja Suomessa Porvoossa, sekä LNG-terminaalit Norjan Ørassa, Ruotsin Lysekilissä ja Suomessa Porissa.</i></p> <p><i>Ja toki uusia tuote- ja palvelumahdollisuuksia tarkastellaan koko ajan.</i></p>
<p><b>2. Miten arvioitte maakaasuverkon kehittyvän seuraavan 10v kuluessa Suomessa ja Euroopassa?</b></p> <p><i>Euroopan laajuisesti tullaan näkemään vahvaa kasvua liikennekaasumarkkinassa. Suomen tasolla kaasuputkiverkko ei tule merkittävästi laajenemaan, mutta liikennepuolella LNG sekä CNG asemaverkosto tulee kasvamaan. Gasum Oy:llä tavoite rakentaa lähitulevaisuudessa 35 uutta kaasun jakeluasemaa. Lisäksi voimme tarjota kaasuverkoston ulkopuolella ratkaisuita biokaasulaitoksiimme, LNG logistiikkaan sekä paineistetun kaasun konttilogistiikkaan perustuen kysynnän mukaisesti.</i></p>
<p><b>3. Onko Gasum Oy mukana biokaasun käytön edistämisessä ja jos on niin miten?</b></p> <p><i>Gasum Oy on Suomen suurin biokaasuntuottaja ja on eripuolella Suomea alueellisesti läsnä sekä omilla tuotantolaitoksilla että yhteistyökumppanilaitoksien kautta. Tuotanto pohjautuu tällä hetkellä pääasiassa jätteenkäsittelyn sivuvirtana tuotettuun kaasuun. Jatkossa mahdollisesti myös mm. puuperäisestä materiaalista tuotettua biokaasua.</i></p>
<p><b>4. Mitä teknisiä esteitä tai haasteita Gasum Oy näkee biokaasun ja maakaasun tankkausverkon laajentumiselle?</b></p> <p><i>Tankkauspisteiden investointitaso suhteessa nykyiseen kysyntään sekä kaasunlaatustandardointi erityisesti pientuotannon osalta. LNG puolella tarvitaan yhteinen standardi tankkausteknologiasta esim. ajoneuvojen vaatima tankkauspaine vaihtelee tällä hetkellä, jolloin ajoneuvoja ei voida tankata kuin asemalla jolla tankkauspaine soveltuu ajoneuvoon.</i></p>
<p><b>5. Mitä haasteita tai ongelmia Gasum Oy näkee yleisesti olevan biokaasun käytön yleistymisen esteenä?</b></p> <p><i>Vaikkakin liiketoimintaympäristö on tällä hetkellä suotuisa ja vaikuttaa sitä olevan jatkossakin mm. energia- ja ilmastotavoitteisiin liittyen, siltikin toivoisimme pitkäjänteistä päätöksentekoa ohjausmekanismien (esim. verotus, kannustimet) osalta alan toimijoiden investointipäätösten vauhdittamiseksi.</i></p> <p><i>Tunnettuuden kasvattaminen on suuri haaste, jonka eteen tuki mekin teemme kovasti työtä. Liikennepuolella ajoneuvotarjonta rajoittaa toistaiseksi markkinakasvua raskaan kaluston osalta (tarjolla olevat merkit ja mallit, teholuokka).</i></p> <p><i>Rajoittunut asemaverkosto on luonnollisestikin ollut yksi markkinakasvun este, mutta omalta osaltamme olemme tätä ratkaisemassa. Biokaasu, LNG ja CNG-kaasukontit tuovat uusia logistisia mahdollisuuksia asemaverkoston kasvattamiselle.</i></p> <p><i>Lisäksi panostamme biokaasun tuotannon kasvattamiseen.</i></p>
<p><b>6. Onko Gasum Oy kiinnostunut biokaasun pientuotannosta ja jakelusta?</b></p> <p><i>Gasum Oy on keskittynyt liiketoiminnassaan suurempiin tuotantoyksiköihin. Gasum Oy suhtautuu kuitenkin myönteisesti myös biokaasun pientuotantoon. Kaasun jakelu pienyksiöihin, kuten maatila, uusien kaasunjakeluteknologioiden (mm. paineistetut kaasukontit) kautta on kiinnostava kohde.</i></p>
<p><b>7. Mitä toimia Gasum Oy odottaa tai mistä olisi kiinnostunut biokaasun käytön edistämiseksi?</b></p>

*LNG:n tankkausasemille tarvitaan yhteinen tankkausstandardi (ts. ajoneuvojen LNG-järjestelmien standardointi, paine/lämpötilataso). Ajoneuvojen valmistajilta toivotaan lisää tarjontaa kaasukäyttöisistä ajoneuvoista.*

*Ylipäättään olemme kiinnostuneita kaikista toimenpiteistä, jotka edesauttavat kaasumarkkinan kehittymistä, erityisesti kohdan 4 haasteisiin vastaavat toimenpiteet.*

**8. Mitä toimia Gasum Oy odottaa julkiselta sektorilta maakaasun ja erityisesti biokaasun käytön edistämiseksi?**

*Liikennesuoritteiden tilaamisessa biokaasun ympäristövaikutuksia tulisi korostaa enemmän. Jälkiasenteisten käyttövoiman muutosten dieselistä/bensiinistä kaasuksi hyväksyntäprosessia tulisi Trafín toimesta selvittää. Yleisesti pelisääntöjen selvennys jälkiasennettujen kaasulaitteiden asennukseen.*

*Kohdan 4 haasteisiin vastaavat toimenpiteet.*

**9. Miten Gasum Oy näkee biokaasun hintakehityksen tulevaisuudessa?**

*Biokaasun hintakehityksen uskotaan olevan tulevaisuudessa hyvinkin kilpailukykyinen perinteiseen dieseliin verrattuna.*



## Lännen Tractors Oy

<b>1. Onko teillä tarjolla tällä hetkellä kaasumootorilla toimivia työkoneita ja jos on niin minkälaisia (dual fuel vai kipinäsytytteinen)?</b>
Ei ole, voimanlähteenä on dieselmoottori
<b>2. Jos on niin minkälaiset ovat olleet asiakkaiden kokemukset kaasumootorilla toimivista työkoneista?</b>
---
<b>3. Näettekö tällä hetkellä jotain ongelmia nykyisissä dieseltekniikkaan perustuissa työkonemootoreissa, entä tulevaisuudessa?</b>
<p>Päästö määräyksien takia dieselit ovat tulleet hyvin monimutkaisiksi ja niiden kehitystoimintaa on ohjannut lähes pelkästään päästöjen pienentäminen. Lopputuloksena laitteet ovat varsin vika-alttiita ja huolto/vikojen korjaus vain tietyissä huoltopisteissä.</p> <p>Toisaalta kehitystrendi pitäisi olla polttoaineen kulutuksen laskeminen. Näin ei ole tapahtunut, päinvastoin, kulutus on saattanut nousta (diesel + adblue).</p> <p>Kolmanneksi dieselien hinnat ovat nousseet rajusti. Tämä on kasvattanut tuotteiden loppuhintaa samassa suhteessa. Asiakas kokee, että hän ei ole saanut mitään, vaikka hinta on voimakkaasti kohonnut.</p> <p>Konevalmistajana meillä on ollut varsin suuria ongelmia saada mahtumaan diesel ja jälkikäsitellyt laitteet konepellin alle. Suuri moottoripaketti on aiheuttanut konstruktio muutoksia, joita loppuasiakas ei kiitä (näkyvyys ohjaamosta, huollon vaikeutuminen, painon kasvaminen jne)</p>
<b>4. Miten arvioisitte kaasun, niin paineistettu kuin nesteytetty, soveltuvuuden työkoneen polttoaineeksi ja mitä haasteita näette kussakin?</b>
<p>Kaasu saattaa soveltua hyvin. Seuraavat asiat saattavat olla ongelmia</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Polttoainetankkien tilavuus, koneella on pystyttävä tekemään 10 tuntisen päivän työt</li> <li>Pitää soveltua talvikäyttöön</li> <li>Polttoainekustannukset pitää olla kilpailukykyiset dieseliin verrattuna</li> <li>Moottorikonstruktio ei saa olla liian monimutkainen, se aiheuttaa alttiutta vikoihin</li> <li>Moottorin hinta</li> </ol>
<b>5. Onko teillä meneillään tällä hetkellä T&amp;K toimintaa liittyen kaasumootorilla toimiviin työkoneisiin? Miten arvioisitte T&amp;K toimintaa tulevaisuudessa?</b>
Ei ole, seuraamme tilanteen kehittymistä. Maansiirtoalalla tällä hetkellä muotiasia on hybridi ja eräissä koneissa sähkökäyttöiset koneet
<b>6. Miten arvioisitte eri kaasumootoritekniologioiden (kipinäsytytteinen ja dual-fuel(diesel-kaasu)) soveltuvan työkonikäyttöön ja mitä heikkouksia ja vahvuuksia kussakin on?</b>
---
<b>7. Minkä tyyppisissä (koko ja käyttötarkoitus) työkoneissa teidän mielestänne kaasumoottori voisi tulla kyseeseen?</b>
---
<b>8. Vaikuttaako eri päästölainsäädäntötasot (esim. Stage IV vs. tuleva Stage V ja eri teholuokat niiden sisällä) kaasumootorilla toimivien työkoneiden mielekkyyteen, jos vaikuttaa niin miten?</b>
<p>Stage 4 aiheuttaa jo osin ongelmia ja stage 5 aiheuttaa niitä varmasti. Eräs tyypillinen ongelma on se, että koneella ei voi ajaa kuin hetkellisesti pienillä tehoilla/kierroksilla, koska pakokaasujen puhdistusjärjestelmät eivät toimi. Liialliset moottorin kierrokset kevyessä työssä aiheuttaa: polttoaineen kulutuksen kasvun, melusaasteen lisääntymisen, epämiellyttävän aggressiivisen työskentelyn, kalustovaurioita jne. Oikea kehityssuunta olisi sellainen, kun työ voidaan tehdä pienillä tehoilla, se myös tehdään kevyellä kaasujalalla energiaa ja ympäristöä säästämällä.</p>
<b>9. Onko maatalouden, kiinteistönhuollon, maanrakennuksen tai muiden käyttäjien suunnalta ilmennyt kiinnostusta kaasumootorilla toimiville työkoneille ja jos on niin mikä on ollut asiakkaiden kiinnostuksen syy?</b>

Asiakkailla saattaisi olla kiinnostusta puhtaampaan teknologiaan, kaasumoottori on kuitenkin varsin tuntematon teknologia. Enemmän puhutaan hybrideistä ja sähköstä.	
<b>10. Oletteko mukana jollain tavalla edistämässä biokaasun käyttöä työkoneissa yleisesti?</b>	
Emme	
<b>11. Näettekö biokaasun tai maakaasun hyödyntämisen työkoneiden polttoaineena potentiaalisena ratkaisuna tulevaisuudessa osansa CO<sub>2</sub> päästöjä alentavista toimista sekä yhtenä fossiilisten polttoaineiden korvaajista?</b>	
Se on hyvinkin mahdollista	
<b>12. Miten näette kaasumoottoreiden tulevaisuuden yleisesti ottaen Euroopassa, USA:ssa ja vähemmän säännöstellyissä maissa?</b>	
---	
<b>13. Onko lainsäädännössä mielestänne jotain kehitettävää tai muutettavaa kaasu- ja biokaasutyökoneisiin liittyen, jos on niin mitä?</b>	
---	

## Sampo-Rosenlew Oy

<b>1. Onko teillä tarjolla tällä hetkellä kaasumootorilla toimivia työkoneita ja jos on niin minkälaisia (dual fuel vai kipinäsytytteinen)?</b>
<i>Ei ole käytössä kuin dieselmootoreita</i>
<b>2. Jos teillä on tarjolla niin minkälaiset ovat olleet asiakkaiden kokemukset kaasumootorilla toimivista työkoneista?</b>
<i>Ei ole kokemusta</i>
<b>3. Näettekö tällä hetkellä jotain ongelmia nykyisissä dieseltekniikkaan perustuvissa työkonemootoreissa, entä tulevaisuudessa?</b>
<i>Ongelmia on lähinnä tekniikan kehittyessä, kun otetaan käyttöön uusia teknologioita.</i>
<b>4. Miten arvioisitte kaasun, niin paineistettu kuin nesteytetty, soveltuvuuden maataloustyökoneen ja metsätyökoneen polttoaineeksi ja mitä haasteita näette kussakin?</b>
<i>Kaasusta ei ole kokemuksia, ongelmia on alkuvaiheessa varmaan kaasunjakelu. Puimuria eikä metsäkonetta noin vain hurauteta huoltoasemalle. Kaasun pitäisi tulla ennemmin koneen luokse työkohteeseen.</i>
<b>5. Onko teillä meneillään tällä hetkellä T&amp;K toimintaa liittyen kaasumootorilla toimiviin työkoneisiin? Miten arvioisitte T&amp;K toimintaa tulevaisuudessa?</b>
<i>Ei ole avointa projektia tällä hetkellä. Tuskin tulemme olemaan kaasun käytössä eturintamassa</i>
<b>6. Miten arvioisitte eri kaasumootoritekniikoiden (kipinäsytytteinen ja dual-fuel(diesel-kaasu)) soveltuvan maatalous- ja metsätyökonekäyttöön ja mitä heikkouksia ja vahvuuksia kussakin on?</b>
<i>Hankala sanoa kun en tunne tarkemmin tekniikkaa.</i>
<b>7. Minkä tyyppisissä (koko ja käyttötarkoitus) työkoneissa teidän mielestänne kaasumootori voisi tulla kyseeseen?</b>
<i>Maataloudessa kaasumootori voisi olla hyvä tasaisessa kuormituksessa ja kiinteässä käytössä (esim. aggregaatin pyörityksessä josta lämpö otettaisiin talteen). Tällä tavoin voitaisiin leikata sähkön kulutushuippuja.</i>
<b>8. Vaikuttaako eri päästölainsäädäntötasot (esim. Stage IV vs. tuleva Stage V ja eri teholuokat niiden sisällä) kaasumootorilla toimivien työkoneiden mielekkyyteen, jos vaikuttaa niin miten?</b>
<i>Stage IV vs V ovat suht lähellä toisiaan joten kaasumootoria ei edes arvioida tässä vaiheessa.</i>
<b>9. Onko maatalouden tai metsätalouden käyttäjien suunnalta ilmennyt kiinnostusta kaasumootorilla toimiville työkoneille ja jos on niin mikä on ollut asiakkaiden kiinnostuksen syy?</b>
<i>Kaasumootoreista ei ole tullut suoranaisia kyselyjä. Valtran kaasutraktorista on puhetta ollut.</i>
<b>10. Oletteko mukana jollain tavalla edistämässä biokaasun käyttöä työkoneissa yleisesti?</b>
<i>Emme ole, ei ole soveltuvaa tekniikkaa yleisesti/helposti tarjolla.</i>
<b>11. Näettekö biokaasun tai maakaasun hyödyntämisen työkoneiden polttoaineena potentiaalisena ratkaisuna tulevaisuudessa osana CO<sub>2</sub> päästöjä alentavista toimista sekä yhtenä fossiilisten polttoaineiden korvaajista?</b>
<i>Miksipä ei, jos tekniikka tulee helposti saataville ja taloudelliset tekijät (koneen hankintahinta / käyttökustannukset) tukevat sitä.</i>
<b>12. Miten näette kaasumootoreiden tulevaisuuden yleisesti ottaen Euroopassa, USA:ssa ja vähemmän säännöstellyissä maissa?</b>
<i>En tunne tekniikkaa paremmin. Suurimpia tekijöitä lienee kaasun helppo saatavuus.</i>
<b>13. Onko lainsäädännössä mielestänne jotain kehitettävää tai muutettavaa kaasu- ja biokaasutyökoneisiin liittyen, jos on niin mitä?</b>
<i>En tunne nyky lainsäädäntöä tältä osin.</i>

## Stara

1. Onko teillä tarjolla tällä hetkellä kaasumootorilla toimivia työkoneita ja jos on niin minkälaisia työkoneita (ikä ja tyyppi) ja minkälaisella moottoritekniikalla (dual fuel vai kipinäsytytteinen)?
<i>Ei ole</i>
2. Jos on niin minkälaiset ovat olleet käyttäjien kokemukset kaasumootorilla toimivista työkoneista?
<i>Ei ole tietoa</i>
3. Onko teillä ollut jotain ongelmia nykyisissä 0-6 vuotta vanhoissa dieseltekniikkaan perustuvissa työkoneistoissa, jos on niin minkälaisia ja näettekö jotain mahdollisia ongelmakohteita tulevaisuudessa liittyen dieselmootoritekniikkaan?
<i>Ei muuta kuin kylmäkäynnistys.</i>
4. Miten arvioisitte kaasun, niin paineistettu kuin nesteytetty, soveltuvuuden työkoneen polttoaineeksi ja mitä haasteita näette kussakin?
<i>Varmasti puhdas palotapahtuma, dieselin terävä ääni saattaa jäädä pois, mutta kaasusäiliöt ovat paljon tilaa vieviä, linkkukoneisiin ei usko että mahtuu. korjaamotilat on kaasuttomat, eli emme voi korjata kaasukoneita tiloissamme.</i>
5. Ovatko kaasulla (niin bio- kuin maakaasu) toimivat työkoneet mahdollisia vaihtoehtoja, kun mietitään tulevia työkonehankintoja?
<i>En usko, monitoimikoneen tilat ovat rajalliset säiliöiden suhteen.</i>
6. Entä näettekö tarvetta ja voisiko retrofit-tekniikka (dieselmootori konvertoidaan jälkikäteen toimimaan myös kaasulla) olla kiinnostava vanhojen työkoneiden osalta?
<i>En näe, koneet on ajettu loppuun ja menevät poistoon, jälkiasennetut ei kiinnosta, tulee liikaa ongelmia huollon kanssa.</i>
7. Jos kaasulla (niin bio- kuin maakaasu) toimivat työkoneet voisivat olla mahdollisia vaihtoehtoja tulevaisuudessa, niin mitkä seikat puoltaisivat niiden hankintaa?
<i>Varmasti päästöt, ei muu.</i>
8. Minkä tyyppisissä (koko ja käyttötarkoitus) työkoneissa teidän mielestänne kaasulla toimiva työkone voisi tulla kyseeseen?
<i>Pitkää yhtenäistä suoritusta tekevä kone, johon mahtuu suuret säiliöt.</i>
9. Mitä erityisvaatimuksia teidän toimintaympäristö asettaa työkoneille yleisesti?
<i>--</i>
10. Oletteko mukana jollain tavalla edistämässä biokaasun käyttöä työkoneissa?
<i>En ole, ja työaika rajoittaa tekemistä, pitää selvittää korjaamon työnjohdon töistä. ylimääräiselle mietinnälle ei ole aikaa.</i>
<i>---</i>
11. Näettekö biokaasun tai maakaasun hyödyntämisen työkoneiden polttoaineena potentiaalisena ratkaisuna tulevaisuudessa osana CO <sub>2</sub> päästöjä alentavista toimista sekä yhtenä fossiilisten polttoaineiden korvaajista?
<i>En näe, monitoimikoneiden työlaitteet vie tilan kaasusäiliöiltä, pitää keksiä aivan uusia rakenteita kaasun säilömiseen. Myös korjaamo ja huoltotilat on rajoite.</i>

## Trafi

<p><b>1. Miten EU:n päästölainsäädännön Vaihe IV käsittelee työkoneneiden kaasumoottoareita, niin kipinäsytytteisiä kuin dual-fuel?</b></p> <p>Vaiheen IV –päästövaatimukset sisältyvät direktiiviin 97/68/EY. Kaasukäyttöisiä moottoareita ei ole huomioitu, koska sopivaa referenssipolttoainetta ei ole määritelty eivätkä vaatimukset muutenkaan ota huomioon kaasumaisen polttoaineen tällaiseen moottoriin aiheuttamia erityispiirteitä. Kyseisen direktiivin mukaista tyyppiähyväksyntää kaasukäyttöisille moottoareille ei ole siten mahdollista myöntää.</p> <p>Sen sijaan käytännössä teoreettiseksi katsottava mahdollisuus kaasu- ja dual-fuel-moottoareiden päästöjen tyyppiähyväksymiselle on tällä hetkellä jo olemassa sitä kautta, että vaihtoehtoisena päästöjen vaatimuksenmukaisuuden osoittamistapana kyseinen direktiivi (liitteessä XII) mahdollistaa tunnustettavaksi EU-asetuksen 595/2009 mukaisen hyväksynnän eli raskaassa tiekuljetuskalustossa sovellettavaksi säädetyn (Euro VI) - päästöhyväksynnän.</p>
<p><b>2. Onko työkoneneiden kaasumoottoareita koskeva (dual-fuel ja kipinäsytyttynen) päästölainsäädäntö muuttumassa lähitulevaisuudessa ennen Stage V:sta, jos on niin miten?</b></p> <p>Vaiheen V –päästövaatimukset on annettu EU-asetuksella (EU) 2016/1628. Päästöjen uudet velvoittavat raja-arvot tyyppiähyväksynnässä tulevat voimaan näitä uusia moottorityyppejä koskien 1.1.2018 alkaen. Komissiossa valmistellaan parhaillaan vastaavaa mukauttamista traktoreiden moottoareiden päästövaatimuksiin ja pyrkimyksenä on saada nekin muutokset julkaistuksi vuoden 2017 aikana niin, että vaiheen V –tason päästövaatimusten soveltaminen traktoreihin voisi alkaa vastaavalla tavalla kuin se tapahtuu varsinaisiin työkoneneisiin vuoden 2018 alusta.</p> <p>Uusi EU-asetus työkonemoottoareiden päästöistä kattaa kaasu- ja dual fuel-moottorit, joten EU-tyyppiähyväksyntöjä moottoareille on mahdollista hakea sitä mukaa kuin jäsenmaiden kansalliset säännökset ja muut siihen liittyvät järjestelyt sen mahdollistavat. Trafi tavoittelee tyyppiähyväksynnän ja testauslaitoksen valmiuksien saattamista uusien säännösten edellyttämään tilaan niin, että vaiheen V tyyppiähyväksyntä Suomessa voidaan tarvittaessa myöntää elokuusta 2017 lähtien.</p> <p>Lainsäädännön muuttamista muulla tavoin työkonemoottoareiden tai traktoreiden kaasukäyttöisten moottoareiden päästöjen osalta ei ole erikseen valmisteilla.</p>
<p><b>3. Miten Suomen ja Euroopan laki käsittelee tällä hetkellä ns. ”retrofit” (jälkiasenteisia jossa moottori on muutettu dual-fuel moottoriksi työkoneneen ensirekisteröinnin ja käyttöönnoton jälkeen) työkoneneiden dual-fuel moottoareita?</b></p> <p>Ajoneuvolain 61 §:n mukaan tieliikennekäytössä oleva dual-fuel-käyttöiseksi muutettu ajoneuvo (mm. työkonene tai traktori) on muutostarkastettava. Ensimmäisen käyttöönottoajankohdan mukaiset päästövaatimukset tulee osoittaa täyttyväksi muutetusta ajoneuvosta. Mikäli riittävää osoitusta päästövaatimusten täyttymisestä ei ole esitettävissä, tässä tarkoitettua ajoneuvoa (rekisteröitynä tai rekisteröimättömänä) ei saa käyttää ilman poikkeuslupaa. Trafi voi käsitellä yksittäisiä ajoneuvoja koskevia poikkeuslupia liikenteessä käytettävien ajoneuvojen osalta. Tällaisia päästöihin liittyviä poikkeuksia voidaan mahdollisesti harkita muun muassa ajoneuvojen lähinnä tutkimus- ja tuotekehitystarpeilla perusteltuina.</p>
<p><b>4. Onko retrofit dual-fuel työkonemoottoareiden lainsäädäntöön tulossa muutoksia tulevaisuudessa, jos on niin minkälaisia?</b></p> <p>Työkoneneiden moottoareihin tarkoitettujen dual-fuel-jälkiasennussarjojen hyväksymistä koskevia vaatimuksia ei olla kehittämässä juuri nyt kv-tasolla. Työkoneneiden dual-fuel-moottoareiden päästöjen tyyppiähyväksyntöjen käsittely tapahtuu lähtökohtaisesti olemassa olevan lainsäädännön pohjalta (Euro VI ja työkonemoottoareiden vaihe V).</p> <p>Työkoneneiden dual-fuel retrofitin sääntelyn jatkokehitykselle on nähtävissä kuitenkin otollinen mahdollisuus sen vuoksi, että UNECE:n piirissä toimiva alatyöryhmä GRPE/GFV (Gaseous Fuelled Vehicles) on kehittänyt dual-fuel-laitteistojen jälkiasennusta ajatellen retrofit-vaatimuksia raskaan ajoneuvokaluston Euro V- ja EEV –moottoareille diesel- ja dual fuel –käyttöä ajatellen. Katso tarkemmin <a href="https://www2.unece.org/wiki/display/trans/GFV+45th+Session">https://www2.unece.org/wiki/display/trans/GFV+45th+Session</a> ja uuden E-säännön ehdotus <a href="https://www2.unece.org/wiki/display/trans/ECE+TRANS+WP.29+2016+110">ECE/TRANS/WP.29/2016/110</a>.</p>
<p><b>5. Miten arvioisitte bio- ja maakaasun verotuksen kehittyvän tulevaisuudessa?</b></p>

Polttoaineiden valmisteveroon tai mahdollisten uusien verotusmallien kehittelyyn liittyvät kysymykset eivät kuulu Trafi toimivaltaan ja ovat olleet tyypillisesti osin poliittisten näkemysten ohjaamia, joten Trafin arviota tulevaisuuden näkymistä sen suhteen ei voida esittää perustellulta pohjalta.

## Valtra Oy

<p><b>1. Onko teillä tarjolla tällä hetkellä kaasumootorilla toimivia työkoneita ja jos on niin minkälaisia (dual fuel vai kipinäsytytteinen)?</b></p> <p>Valtra on valmistanut rajallisen määrän dualfuel tekniikkaan perustuvia traktoreita joissa voidaan käyttää maakaasua tai biokaasua dieselin ohella polttoaineena. Tuote ei ole sarjatuotannossa vaan tuotteet ovat edelleen tutkimusprojekti statuksen alla.</p> <p>Tuote prototyyppi on tehty yhteistyökumppanien kanssa perustuen normaaliin dieselkäyttöiseen moottoriin tehdyillä minimimuutoksilla, jotka mahdollistavat biokaasun käytön dieselin ohella. Prototyyppi on tehty tarkoituksena tunnustella markkinoiden kiinnostusta biokaasun käytöstä työkoneiden polttoaineena.</p>
<p><b>2. Jos teillä on tarjolla niin minkälaiset ovat olleet asiakkaiden kokemukset kaasumootorilla toimivista työkoneista?</b></p> <p><i>Koneita on ollut testikäytössä mm. Ruotsissa MEKA projektin sekä Saksassa BiomeTrak projektin käytössä. Kummassakin projektissa traktoreita on testattu laboratorioympäristöissä sekä kerätty kokemuksia käytännön töissä. Yleisesti ottaen palaute koneiden toiminnasta todellisessa työssä on ollut positiivista. Meka projektin loppuraportti löytyy alla olevasta linkistä:</i>  <a href="http://www2.jordbruksverket.se/download/18.2da8616d1542c4a4966943b2/1461152273953/ra15_23e.pdf">http://www2.jordbruksverket.se/download/18.2da8616d1542c4a4966943b2/1461152273953/ra15_23e.pdf</a></p>
<p><b>3. Miten arvioisitte kaasun, niin paineistettu kuin nesteytetty, soveltuvuuden maataloustyökoneen polttoaineeksi ja mitä haasteita näette kussakin?</b></p> <p><i>Nesteytetty:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Infran kannalta haasteita maatalouden kaasunkäyttöä ajatellen</li> <li>- Pitkäaikainen varastointi haaste koneessa sekä varastoinnissa</li> <li>- Etuna ajoneuvossa olisi suurempi tehotehous paineistettuun verrattuna</li> </ul> <p><i>Paineistettu:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Infran toteutus paremmin soveltuva maatalouden käyttöön</li> <li>- Haasteena verrattuna nesteytettyyn on pienempi energiatehous</li> </ul> <p><i>Kaasun käyttö traktoreissa tulee kysymykseen yhtenä tekijänä tilalla jossa on kaasun tuotantoa. Tällöin kaasun käyttö on monipuolista eri tarkoituksiin ja on tärkeää ymmärtää kokonaisuus. Esimerkiksi jos tilalla on kaasuntuotanto ja puhdistus kaasun liikennekäyttöön. On järkevää käyttää kaasua tilan autoissa traktorin lisäksi. Myös liikennekaasun myyminen ulkopuolisille on yksi mahdollisuus tilalle saada lisätuloja. Paineistettu kaasun käsittely ja jakelu tukee paremmin tätä kokonaisuutta verrattuna nesteytettyyn.</i></p>
<p><b>4. Onko teillä meneillään tällä hetkellä T&amp;K toimintaa liittyen kaasumootorilla toimiviin maataloustyökoneisiin? Miten arvioisitte T&amp;K toiminnan aktiivisuutta tulevaisuudessa?</b></p> <p>Valtralla on tällä hetkellä oma tutkimusprojekti jossa biokaasutraktori on yhtenä aiheena. Kehityspanostukset ovat olleet tähän asti varsin pieniä.</p> <p>Tällä hetkellä tilanne ajoneuvoihin sopivan liikennekaasun saatavuudessa maataloilla on edelleen hyvin vähäistä ja siten tämän hetkinen tavoite on seurata tilanteen kehittymistä ja pitää tuotekehitys käynnissä selvittäen mahdollisia tulevaisuuden vaihtoehtoja kaasun käyttämisestä traktorissa.</p> <p>TK toiminnan aktiivisuuteen ja laajuuteen viime vuosina ovat vahvasti vaikuttaneet päästö määräysten tiukentuminen normaali diesel moottoreille ja sen mukana tuoma työmäärä tuotekehityksessä, tämä kuorma ei myöskään lähitulevaisuudessa tule merkittävästi vähenemään stage5 projektien myötä.</p> <p>Koska tällä hetkellä kyseiselle tuotteelle ei ole valmiita markkinoita myös T&amp;K toiminnan aktiivisuuteen ja laajuuteen vaikuttaa paljon mahdollisuudet tehdä kehitystyötä kansallisten kehitysohjelmien avulla.</p>



<p><b>5. Miten arvioisitte eri kaasumootoritekniikoiden (kipinäsytytteinen ja dual-fuel(diesel-kaasu)) soveltuvan maataloustyökonekäyttöön ja mitä heikkouksia ja vahvuuksia kussakin on?</b></p>
<p>Dualfuel teknologian suurin hyöty tulee käytetyn polttoaineen joustavuudesta sekä ajoneuvolle saatavasta käytännön toimintasäteestä. Heikkoutena teknologiassa on kahden eri polttoaineen vaatimat järjestelmät säiliöineen sekä toisaalta haasteet hallita päästöt kahden eri polttoaineen osalta.</p> <p>Monofuel ratkaisun suurin hyöty on järjestelmän yksinkertaisempi rakenne. Heikkoutena taas on koneen täysi riippuvaisuus kaasun saatavuudesta, joka oletettavasti vaikuttaa myös koneen jälleenmyyntiin. Toinen haaste on saada 100% kaasua käyttävän traktorin toimintasäde riittävän kattavaksi järkevän kokoisilla kaasutankeilla.</p> <p>Potentiaalisin ratkaisu kaasukäyttöiseksi traktoriksi on tilan yleistraktorin joka toimii tyypillisesti tilan lähiympäristössä ja on teholuokaltaan keskitason (150hp) alapuolella. Tällaisessa käytössä myös monofuel versio voisi olla toimintasäteen kannalta hyväksyttävä ratkaisu.</p>
<p><b>6. Minkä tyyppisissä (koko/teholuokka ja käyttötarkoitus) työkoneissa teidän mielestänne kaasumootori voisi tulla kyseeseen?</b></p>
<p><i>Biokaasua tuottavan tilan yleiskoneena, joka on tyypillisesti ~100hp kokoluokan traktori ja toimii lähiympäristössä eri tehtävissä.</i></p> <p><i>Toinen mahdollinen käyttötarkoitus on kaupungeille ja kunnille tekevät urakoitsijat, jolloin kaasun saatavuus on kaupungin maakaasuverkon kautta tai kaupungin omien biokaasulaitosten myötä.</i></p>
<p><b>7. Vaikuttaako eri päästölainsäädäntötasot (esim. Stage IV vs. tuleva Stage V ja eri teholuokat niiden sisällä) kaasumootorilla toimivien maataloustyökoneiden mielekkyyteen, jos vaikuttaa niin miten?</b></p>
<p>Päästöloukkien kiristyminen luo lisähaastetta toimivan (päästöraajat täyttävän) erityisesti dualfuel ratkaisun toteutukselle.</p> <p>Stage5 vaiheessa &lt;56kw moottoreille sallitaan suuremmat HC+NOX päästöt kuin suurempi tehoisille, joka voisi mahdollistaa pienille koneille kaasun käytön.</p>
<p><b>8. Onko maatalouden, kiinteistönhuollon tai muiden käyttäjien suunnalta ilmennyt kiinnostusta kaasumootorilla toimiville työkoneille ja jos on niin mikä on ollut asiakkaiden kiinnostuksen syy?</b></p>
<p>Maatalouden näkökulmasta kiinnostus tulee oman kaasutuotannon laajemman hyödyntämisen kautta ja siten edelleen taloudellisena hyötynä.</p> <p>Kiinteistöhuollon puolella kiinnostus tulee myös sitä kautta että urakoitsijan työn tilaaja eli kaupunki tai kunta asettaa vaatimuksia operoivan koneen päästöille. Toistaiseksi tällaisesta on palautetta tullut vähän mutta sen oletetaan lisääntyvän.</p>
<p><b>9. Oletteko mukana jollain tavalla edistämässä biokaasun käyttöä työkoneissa yleisesti?</b></p>
<p>Valtra on esitellyt kansainvälisesti biokaasu käyttävän koneen prototyyppiä (messuilla ja seminaareissa) ja siten omalta osaltaan ollut mukana viemässä eteenpäin ajatusta siitä että maatilalla tuotettavaa kaasua voisi hyödyntää tilan koneissa.</p> <p>Olemme myös osallistuneet jo aiemmin mainittuihin kansallisiin hankkeisiin Saksassa ja Ruotsissa ja tarjonneet biokaasu käyttäviä koneita projektien käyttöön.</p>
<p><b>10. Näettekö biokaasun tai maakaasun hyödyntämisen maataloustyökoneiden polttoaineena potentiaalisena ratkaisuna tulevaisuudessa?</b></p>
<p>Se on yksi mahdollinen vaihtoehtoinen polttoaine, joka soveltuu maatalouden käyttöön monia muita vaihtoehtoisia paremmin.</p> <p>Biokaasu on uusiutuva polttoaine jonka tulevaisuus on paljon riippuvainen sen tuottamiseen ja käyttöön liittyvästä politiikasta ja lainsäädännöstä.</p> <p>Biokaasun tuotannon ja käytön odotetaan lisääntyvän maatalousmittakaavassa ja tämä luo pohjaa myös sen hyödyntämiselle ajoneuvojen polttoaineena.</p>

<p><b>11. Miten näette kaasumoottoreiden tulevaisuuden yleisesti ottaen Euroopassa, USA:ssa ja vähemmän säännöstellyissä maissa?</b></p>
<p>Riippuu öljyn hinnasta sekä lainsäädännön ohjauksesta.</p>
<p><b>12. Onko lainsäädännössä mielestänne jotain kehitettävää tai muutettavaa kaasu- ja biokaasutyökoneisiin liittyen, jos on niin mitä?</b></p>
<p>Biokaasun käyttö työkoneissa, kuten traktorissa tarjoaa mahdollisuuden leikata työkoneen hiilidioksidipäästöjä merkittävästi. Esim. Ruotsin MEKA projektin perusteella Valtran N123 traktorin prototyyppin ilmastovaikutus oli testien mukaan 40% alhaisempi dualfuel käytössä verrattuna diesel käyttöön. Vastaavan parannuksen tekeminen diesel-käyttöiseen traktoriin muilla keinoin on todella kaukana tulevaisuudessa, ellei mahdotonta niin kauan kuin käytetään polttomoottoria ja fossiilista polttoainetta.</p> <p>Siten jos työkoneiden ilmastovaikutusta ja CO2 päästöjä halutaan pienentää olisi kohtuullista harkita biokaasua käyttävän dualfuel ratkaisun asetettuihin/ehdolla oleviin päästörajoihin helpotusta suhteessa diesel-käyttöiseen. Tällainen käsittely mahdollistaisi koneen tarjoamisen asiakkaille ja veisi kehitystä eteenpäin. Dualfuel tekniikka työkonemoottoreissa on uutta ja omaa hyvin lyhyen kehityskaaren ja siten on epärealistista ajatella että kyseinen tekniikka voisi lyhyen kehityskaaren jälkeen tarjota samat päästöarvot kuin huomattavasti pidemmän kehityskaaren omaava diesel moottori.</p> <p>Biodiesel on toinen mahdollisuus pienentää työkoneiden CO2 päästöjä, mutta se ei ole niin houkutteleva ratkaisu maatalan näkökulmasta koska on ulkoa ostettava polttoaine siinä missä fossiilinen dieselikin ja oletettavasti vielä hieman kalliimpi. Biokaasua sen sijaan maatila voi tuottaa itse, joka mahdollistaa paremman energiaomavaraisuuden.</p>

## Vilakone Oy

<b>1. Onko teillä tarjolla tällä hetkellä kaasumootorilla toimivia työkoneita ja jos on niin minkälaisia (dual fuel vai kipinäsytytteinen)?</b>
Ei ole
<b>2. Jos on niin minkälaiset ovat olleet asiakkaiden kokemukset kaasumootorilla toimivista työkoneista?</b>
Ei palautetta myöskään muiden valmistamista työkoneista.
<b>3. Näettekö tällä hetkellä jotain ongelmia nykyisissä dieseltekniikkaan perustuissa työkonemootoreissa, entä tulevaisuudessa?</b>
Jälkikäsitteilylaitteiden tilantarve ja kustannukset Lisääntyvä jäähdytystarve pahentaa meluongelmia Seuraavat päästörajat pahentavat molempia ongelmia
<b>4. Miten arvioisitte kaasun, niin paineistettu kuin nesteytetty, soveltuvuuden työkoneen polttoaineeksi ja mitä haasteita näette kussakin?</b>
Toimivuus kylmissä oloissa? Säiliöiden turvallisuus? Säiliöiden tilantarve? Tankkauspisteiden saatavuus työkohteiden lähellä
<b>5. Onko teillä meneillään tällä hetkellä T&amp;K toimintaa liittyen kaasumootorilla toimiviin työkoneisiin? Miten arvioisitte T&amp;K toimintaa tulevaisuudessa?</b>
Ei ole tällä hetkellä. Tulevaisuudessa kiinnostava aihe
<b>6. Miten arvioisitte eri kaasumootoritekniikoiden (kipinäsytytteinen ja dual-fuel(diesel-kaasu)) soveltuvan työkonekäyttöön ja mitä heikkouksia ja vahvuuksia kussakin on?</b>
Mootorin reagointi nopeisiin kuormitusmuutoksiin voi olla haasteellista, ongelmaa voitaneen pienentää koneen ohjauksen kehittämisellä. Tämä on ehkä dieselin vahvuus kaasumootoreihin nähden.  Vähäisemmän jälkikäsitteilytarpeen vuoksi kaasumootori voi olla helpompi sijoittaa ahtaisiin rakenteisiin.  Muilta osin soveltuvuudessa ei meidän näkemyksen mukaan olisi merkittäviä eroja
<b>7. Minkä tyypisissä (koko ja käyttötarkoitus) työkoneissa teidän mielestänne kaasumootori voisi tulla kyseeseen?</b>
Koneemme ovat painoluokassa 2-7 tonnia ja teholuokassa 37 – 100kW. Periaatteessa kaasumootori voisi soveltua kaikkiin luokkiin.
<b>8. Vaikuttaako eri päästölainsäädäntötasot (esim. Stage IV vs. tuleva Stage V ja eri teholuokat niiden sisällä) kaasumootorilla toimivien työkoneiden mielekkyyteen, jos vaikuttaa niin miten?</b>
Vähäisemmän jälkikäsitteilytarpeen vuoksi kaasumootori voi olla helpompi sijoittaa ahtaisiin rakenteisiin. Koneen kokonaiskustannukset ja käyttökustannukset ovat merkittävin vaikutin.
<b>9. Onko maatalouden, kiinteistönhuollon, maanrakennuksen tai muiden käyttäjien suunnalta ilmennyt kiinnostusta kaasumootorilla toimiville työkoneille ja jos on niin mikä on ollut asiakkaiden kiinnostuksen syy?</b>
Paras kontaktipintamme on kiinteistönhuolto ja muu taajamien huolto. Käyttäjien suunnalta on tullut jonkin verran tiedusteluja. Pääpaino on ympäristöseikoissa, myös eräissä kaupungeissa suunnitellaan dieselien käytön rajoittamista, jolloin kaasukäyttö voisi olla yksinkertaisin korvaava tapa.
<b>10. Oletteko mukana jollain tavalla edistämässä biokaasun käyttöä työkoneissa yleisesti?</b>
Toistaiseksi emme ole, mutta halukkuutta voisi olla tulevaisuudessa.
<b>11. Näettekö biokaasun tai maakaasun hyödyntämisen työkoneiden polttoaineena potentiaalisena ratkaisuna tulevaisuudessa osansa CO<sub>2</sub> päästöjä alentavista toimista sekä yhtenä fossiilisten polttoaineiden korvaajista?</b>

Kyllä näemme. Näiden lisäksi asiakaskuntamme näkökulmasta hiukkaspäästöjen vähentäminen yksinkertaisemmalla teknologialla voisi olla houkuttelevaa.
<b>12. Miten näette kaasumoottoreiden tulevaisuuden yleisesti ottaen Euroopassa, USA:ssa ja vähemmän säännöstellyissä maissa?</b>
Niissä maissa, joissa päästöjä säännöstellään, potentiaali on yksinkertaisempi jälkikäsitteily ja muut ympäristönäkökulmat, osittain myös kaasun imago.  Vähemmänsäännöstellyissä maissa potentiaali voi olla kaasun alemmat kustannukset ja saatavuus, näin ainakin Venäjällä
<b>13. Onko lainsäädännössä mielestänne jotain kehitettävää tai muutettavaa kaasu- ja biokaasutyökoneisiin liittyen, jos on niin mitä?</b>
Valitettavasti tunnemme säädöksiä liian huonosti. Niistä kerätty yhteenveto olisi toivottavaa. Tuntematta asiaa, epäilen, että säiliöiden turvallisuusmääräyksiä ei ehkä ole suunniteltu työkoneiden tarpeisiin.